

**Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

імені Ігоря Сікорського»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.9-05

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____

Ю.В.Петраков

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018р.

**Магістерська дисертація на
здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності **131. Прикладна механіка. Технології машинобудування**

(код і назва спеціальності)

на тему: Підвищення якості зубчастих коліс при удосконаленні методу
зубохонінгування.

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи **МТ – 81мп**

(шифр групи)

Константиненко Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор Воронцов Б.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО» МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування
(повна назва кафедри)

Кафедра технології машинобудування

Спеціальність **131. Прикладна механіка.**
Спеціалізація **Технологія машинобудування**
(код і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри

_____ Ю.В. Петраков
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Константиненко Дмитро Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації : Підвищення якості зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування.

науковий керівник: Воронцов Б.С., д.т.н., професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом закінченої дисертації «__» _____ 20__ р.

3. Об'єкт дослідження: процес алмазними еластичними черв'ячними хонами

4. Предмет дослідження: технологія зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами після шевінгування та вплив її на шорсткість поверхні зуба

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Дослідити якість поверхонь зубів, вдосконалити пристрій для зубохонінгування; розробити Startup-проекту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу : презентація PowerPoint

7. Орієнтовний перелік публікацій:

- Кривошея А. В., Воронцов Б.С., Константиненко Д.О., Шубін Ю.Є - «Підвищення якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування», «Машинобудування очима молодих» Прогресивні ідеї – наука – виробництво, Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня-02 листопада Краматорськ 2018 рік, Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2018. — 204 с.:
- Константиненко Д.О., Кривошея А.В., Долгов Н. А., Рутковский А.В., «ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС», міжнародна науково-практично інтернет- конференція «ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАЦІЇ І ОСВІТИ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ», 31 жовтня 2019р., м. Переяслав-Хмельницький, Україна. Збірка матеріалів конференції №52, 2019 р, стр-438.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	01.10.2018	
2	Ознайомлення з існуючими на ринку матеріалами і технологіями	15.10.2018	
3	Формування теоретичних засад проведення дослідження	22.10.2018	
4	Підготовка до публікацій статей	25.10.2018	
5	Постановка експерименту	30.11.2018	
6	Аналіз результатів	03.12.2018	
7	Підготування магістерської дисертації	12.12.2018	

Студент

(підпис)

Константиненко Д.О.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Воронцов Б.С.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота включає в себе: зміст, вступ, чотири розділи та висновки, список використаної літератури та додатки. Робота містить в собі 89 сторінок тексту, 39 рисунків, таблиць 34, 16 найменування використаних літературних джерел.

Актуальність теми. Довговічність та якість роботи механізмів і машин, як правило, забезпечують якісно виготовлені зубчасті колеса. Якісно та точно виготовлені зубчасті колеса значною мірою розширюють функціональні можливості роботи машин, підвищують експлуатаційні можливості роботи машини чи механізму, безшумність та плавність в роботі.

Дослідження та впровадження технології зубохонінгування після шевінгування та азотування в даний час недостатньо вивчена та досліджена. Тому дослідження та впровадження технології зубохонінгування еластичними черв'ячними хонами після зубошевінгування та азотування дуже важливе для машинобудування, як в Україні, так і за її межами.

У даній роботі представлені результати експериментального та теоретичного дослідження технології алмазного зубохонінгування еластичними черв'ячними хонами після шевінгування та термічної обробки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота має зв'язок з науково-дослідною роботою інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України.

Метою роботи є підвищення якості зубчастих вінців зубчастих коліс.

Завданням дослідження є експериментальні та теоретичні дослідження технології зубохонінгування черв'ячними хонами та вплив на шорсткість робочих поверхонь зубчастих коліс.

Об'єкт дослідження – технологія зубохонінгування після зубошевінгування та азотування зубчастих коліс.

Предмет дослідження – вплив нової технології на якість зубців зубчастих коліс.

Мета дослідження. Підвищити якість зубців зубчастих коліс.

Наукова новизна. Запропонована та досліджена нова технологія обробки зубчастих коліс, яка включає зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами.

Практичне значення. Досягти оптимальної якості поверхонь зубчастих коліс при мінімальних затратах часу.

Публікації.

- Кривошея А.В., Воронцов Б.С., Константиненко Д.О., Шубін Ю.Є. - «Підвищення якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування», «Машинобудування очима молодих» Прогресивні ідеї – наука – виробництво, Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня-02 листопада Краматорськ 2018 рік, Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2018. - 204 с.;
- Константиненко Д.О., Кривошея А.В., Долгов Н. А., Рутковский А.В., «ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС», міжнародна наукова-практично інтернет-конференція «ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАЦІЇ І ОСВІТИ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ», 31 жовтня 2019р., м. Переяслав-Хмельницький, Україна. Збірка матеріалів конференції №52, 2019 р, стр-438.

Ключові слова: зубохонінгування, якість, алмазний еластичний черв'ячний хон, плавність, довговічність, зубчасті передачі.

ABSTRACT

The master's thesis includes: content, introduction, four sections and conclusions, a list of used literature and applications. The work includes 89 pages of text, 39 drawing, 34 tables, 16 the names of the sources used.

Actuality of theme. Durability and quality of work of mechanisms and machines as a veil provide qualitatively made gear wheels. Qualitatively and precisely

manufactured gear wheels greatly extend the functionality of the machines, increase the operational capabilities of the machine or mechanism, quiet and smooth operation.

The research and implementation of dental chewing and nitriding technology is currently poorly understood and researched. Therefore, the research and implementation of elastic worm honeysuckle technology after dentition and nitriding is very important for mechanical engineering both in Ukraine and abroad.

This paper presents the results of an experimental and theoretical study of the technology of diamond dentition with elastic worms after chewing and heat treatment.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. The work is connected with the research work of the Institute of Superhard Materials. VM Bakul of NAS of Ukraine .The purpose of the work is to improve the quality of the gear crowns of gears.

The objective of the study is experimental and theoretical studies of the technology of wormhole dentitioning and the effect on the roughness of the working surfaces of the gear wheels.

The object of the study is the technology of tooth-brushing after tooth-brushing and nitriding of gears.

The subject of the research is the influence of new technology on the quality of gear teeth.

The aim of the study. Improve the quality of gear teeth.

Scientific novelty. A new gear technology is proposed and investigated, which includes dental worming with diamond worm elastic hoons.

Practical meaning. To achieve optimum quality of surfaces of gear wheels at the minimum expenses of time.

Publications.

- AV Krivosheya, BS Vorontsov, DO Konstantinenko, Yu. E. Shubin - "Improving the quality of gear surfaces while improving the method of dentistry", "Mechanical engineering through the eyes of the young" Progressive ideas - science - production, Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference, 31 October-02 November

Kramatorsk 2018, Under the General. ed. VD Kovalev. Kramatorsk: DDMA, 2018 - 204 p .;

- Konstantinenko DO, Krivosheya OV, Dolgov MA, Rutkovsky AV, “PROSPECTIVE TECHNOLOGIES OF Cylindrical Gear Manufacturing”, International Scientific and Practical Conference TESI, Tensi Pereyaslav-Khmelnitsky, Ukraine. Conference Proceedings No. 52, 2019, p-438.

Keywords: dentistry, quality, diamond elastic worm hon, smoothness, durability, gears.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ABSTRACT	5
ВСТУП	9
1. ТЕРМООБРОБКА ТА ЗУБОХОНІНГУВАННЯ, ЯК ЕФЕКТИВНІ ЕТАПИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В МАШИНОБУДУВАННІ. ..	13
1.1.Термообробка зубчастих коліс гідромашин.	13
1.2.Аналіз методів чистової та оздоблювальної обробки зубчастих коліс....	16
1.3. Аналіз способів зубохонінгування.	21
1.4.Висновки. Ціль та задачі дослідження.....	25
2. РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТЕОРИТИЧНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.	26
2.1. Теоретичне обґрунтування нового способу зубохонінгування.	26
2.2 Удосконалення пристосування для зубохонінгування.....	39
2.3 Тарування пристосування для зубохонінгування.....	42
2.4 Вибір верстата для зубохонінгування.	44
2.5 Вибір оптимальних режимів зубохонінгування зубчастих коліс після зубошевінгування і термообробки.	46
2.6 Вибір пристроїв та методики вимірювань результатів дослід.	47
2.7 Технологія для зубохонінгування.	49
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ХОНІНГУВАННЯ ЗУБЦІВ ПІСЛЯ ШЕВІНГУВАННЯ.....	52
3.1 Послідовність проведення дослідів.	52
3.2 Мета і задачі випробування зубохонінгування.....	53
3.3 Програма випробувань методу хонінгування після шевінгування та азотування.	54
3.4 Результати дослідів.....	57
3.4 Висновки за розділом.	75
4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ	78
4.1 Опис ідеї проекту.....	78
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	79
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	80
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	86
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	88
4.6 Висновки за розділом	91
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	92
ДОДАТОК.....	94

ВСТУП

Актуальність теми. Циліндричні зубчасті передачі, як складова частина більшості машин і механізмів, є водночас одними з наймасовіших, складних, трудомістких і дорогих деталей в технології машинобудування. За сучасними уявленнями структурно-параметричний синтез зубчастої передачі необхідно розглядати в єдиній технічній системі шляхом комплексного вирішення завдань по проектуванню, виготовленню, експлуатації та ремонту створюваних зубчатих передач, тобто на всіх етапах її життєвого циклу. Важливими етапами життєвого циклу зубчастої передачі є взаємозалежні етапи теоретичного та технологічного синтезу циліндричних зубчастих передач. Сучасний розвиток машин і механізмів потребує все більш точні і якісні механізми і машини, але це не можливе без якісно виготовлених їх складових – зубчастих передач. Якісно виготовлені зубчасті передачі дозволяють зменшити шум, підвищити плавність роботи зубчастих механізмів, а також досягти більшої довговічності роботи всього механізму чи машини. Якість виготовлення коліс значно залежать від точності виготовлення і стану поверхневого шару робочих поверхонь зубчастих передач, зокрема від шорсткості їх робочих поверхонь. Одним з важливих механізмів різних машин є шестерні гідравлічні машини.

Основними агрегатами, лімітуючими надійність і ресурс гідравлічних систем різних машин, являються шестеренні гідромотори та гідронасоси, крупно-серійне виробництво яких в Україні освоєно Кіровоградським заводом «Гідросила». У зв'язку з втратою ринку збуту гідромашин в Росії виникла необхідність розширення ринку збуту гідромоторів і гідронасосів орієнтовано на Європейські країни. Але для цього необхідно підвищити якість їх виготовлення і, насамперед, точність і шорсткість робочої поверхні зубів шестерень гідромашини.

Наявна технологія фінішної обробки шестерень гідромоторів включає шевінгування та цементацію. В результаті проведення цементації точність зубчастої шестерні погіршується на одну ступінь точності, а шорсткість поверхні

знаходиться в межах $Ra = 0,4-0,8$ мкм. Оптимальні параметри шорсткості робочої поверхні шестерень повинні мати $Ra = 0.2-0.4$ мкм.

З усіх методів хіміко-термічної обробки поверхневого шару деталей найбільш ефективним є розроблений в ІПМ імені Г.С. Писаренка НАН України (низькотемпературний до $560\text{ }^{\circ}\text{C}$) йонно-плазмовий термоциклічний метод термічної обробки азотування, який не дає поводок деталі і заразом зберігає точність шестерні, яка була досягнута при зубошевінгуванні, та забезпечує в порівнянні з ізотермічними методами азотування більшу товщину азотованого шару [1]. Відомим недоліком ізотермічного азотування, що заважає його впровадженню в виробництво, це мала товщина азотованого шару поверхні. Впровадження нового методу йонно-плазмового термоциклічного азотування потребує зміни всієї технології виготовлення зубчастих коліс гідромоторів.

У масовому і крупно-серійному виробництві найбільш поширеною фінішною операцією обробки циліндричних евольвентних зубчастих коліс, що забезпечує оптимальну шорсткість їх робочих поверхонь, є зубохонінгування дисковими зубчастими хонами, зокрема алмазними [2].

Шорсткість робочих поверхонь зубчастих передач впливає на два основні напрямки:

По-перше, якщо шорсткість робочих поверхонь зубчастих передач більш наближена до оптимального значення, тим вище межа їх втоми.

По-друге, шорсткість впливає на момент при зрушенні механізму, а також на знос контактуючих поверхонь і шум в роботі в період припрацювання механізму.

Однією з основних функцій зубохонінгування є усунення дефектного шару на поверхні після попередньої термообробки та забезпечення необхідних параметрів шорсткості поверхні при тій же практично точності оброблюваних поверхонь зубців шестерень.

Але, як у нашій країні, так і за кордоном традиційні методи зубохонінгування циліндричних зубчастих коліс дисковими зубчастими хонами із зовнішніми та внутрішніми зубчастими вінцями, зокрема алмазними

еластичними, не відповідають сучасним вимогам машинобудування по цілому ряду показників, а саме:

- Складність конструкції і технології виготовлення та правки дискового хона, особливо алмазного;

- Значне динамічне навантаження, що виникає в процесі обробки, яке призводить до руйнування зубців дискового хона.

- Нерівномірна швидкість ковзання зубів інструменту щодо оброблюваного зубчастого колеса, що не забезпечує рівномірність шорсткості по висоті зуба зубчастого колеса.

- Застосування при процесі зубохонінгування спеціальних верстатів, вартість яких сягає до 1 млн. євро, наприклад, зубохонінгувального верстату фірми Fassler.

Провідні іноземні фірми в областях технології вікінчувальної обробки зубчастих коліс та складнопрофільних інструментів, як-от Gleason, Kapp, Liebherr, Fassler, Samputensili, Koepfer виходять на рівень ноу-хау та приховують свої секрети. Прикладом цього можуть слугувати розробки фірм Kapp та Fassler по технології зубохонінгування дисковим зубчастим хонем з внутрішніми зубцями та алмазної шестерні для правки зубчастого хону.

Тому існуючі методи зубохонінгування є дуже затратними і не всі підприємства, як в нашій країні, так і за кордоном можуть дозволити собі впровадження їх у виробництво, особливо при серійному та малосерійному виробництві.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України був розроблений і реалізований новий метод зубохонінгування, алмазними еластичними черв'ячними хонами [2].

Новий метод зубохонінгування ліквідує вищевказані недоліки, притаманні методам зубохонінгування дисковими зубчатими хонами, також він не потребує спеціальних верстатів і може бути реалізований на горизонтально фрезерних та плоскошліфувальних верстатах. Дослідно-промислові випробування нового методу фінішної обробки шестерень гідронасосів після цементації та чистового

фрезерування черв'ячними фрезами «FETTE» на Кіровоградському заводі «Гідросила» показали його перспективність і високу ефективність, але водночас виявили незначні недоліки нового процесу обробки. Також не було повністю досліджено зміну параметрів шорсткості при технології зубохонінгування після шевінгування та азотування шестерень. Тому в даній магістерській дисертації були поставлені задачі по дослідженню зміни параметрів шорсткості при зубохонінгуванні алмазними еластичними хонами після шевінгування та азотування зубчастих коліс. Впровадження технології йонно-плазмового термоциклічного азотування та методу зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами дасть змогу підняти якість зубчастих передач, а також вітчизняних машин і механізмів та зробити їх конкурентноздатними на ринку Європи, і тому дана тема є актуальною для машинобудування України. Дослідження в даному напрямку були проведені в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України у відділі №20.

Об'єктом досліджень є формоутворююча виробничо-технічна система технологічного синтезу зубчастих передач, а предметом дослідження – зміна показників (шорсткості, точності), які характеризують цю технічну систему.

Основною метою досліджень в даному проекті є дослідження комбінації нового способу термообробки та нового способу зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами на серійних верстатах.

Основою математичного апарату використовуваного для теоретичного опису зубчастих зачеплень в даному проекті є теорія багатопараметричного відображення афінного простору розробленої стосовно до теорії формоутворення поверхонь різанням проф. Перепелицею Б.О., розвинена к.т.н. А.В. Кривошея і В.Е. Мельником і реалізована в Mathcad [3,4].

При дослідженні використовувалась динамометрія та сучасні вимірювальні системи.

1. ТЕРМООБРОБКА ТА ЗУБОХОНІНГУВАННЯ, ЯК ЕФЕКТИВНІ ЕТАПИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В МАШИНОБУДУВАННІ.

1.1. Термообробка зубчастих коліс гідромашин.

Основним методом термообробки зубчастих коліс гідромашин є цементация. **Цементация сталі** — це процес насичення поверхневого шару сталевих виробів вуглецем. Мета цементации — одержати вироби з твердою поверхнею і в'язким осердям. Такі вироби добре витримують навантаження і мало спрацьовуються навіть при великих навантаженнях. Твердість поверхневого цементованого шару досягає 750 НВ. Цементування зазнають вироби з маловуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю 0,15...0,35 %. Це такі деталі, як поршневі пальці, зубчасті колеса, кулачки розподільних валів.

Розрізняють цементацию в твердому, рідинному і газоподібному карбюризаторах (вуглецевмісних сумішах). Як твердий карбюризатор застосовують суміш деревного (березового) вугілля (75 %) з вуглекислими солями BaCO_3 , CaCO_3 (25 %).

Вироби, що цементуються, разом із карбюризатором вміщують у металеві ящики (засипають карбюризатором так, щоб деталі не доторкалися між собою, дна і стінок ящика), закривають кришками, ретельно обмазують глиною і в такому вигляді витримують у печі за температури 910...930 °С протягом 5...25 год. Для отримання цементованого шару завглибшки 0,1 мм потрібне витримання виробів у печі впродовж 1 год. При цьому відбуваються такі реакції:



Атомарний вуглець (Сат), що виділяється, проникає в поверхневі шари сталевих виробів за зазначений час на глибину 0,5...2,5 мм.

Вміст вуглецю в цементованому шарі зменшується в напрямку від поверхні до осердя виробу. Зміна вмісту вуглецю залежно від глибини приводить до одержання трьох зон: заевтектоїдної (перліт + цементит), евтектоїдної (перліт) і доевтектоїдної (ферит + перліт).

Цементацию в твердому карбюризаторі застосовують в умовах ремонтного виробництва.

Газову цементацию здійснюють у спеціальних камерах, де містяться нагріті до температури 930... 1000 °С деталі, крізь які безперервно з певною швидкістю пропускають цементуючий газ. Для цього використовують природний газ, основною частиною якого є метан CH_4 . Відбуваються такі реакції:



Газова цементация продуктивніша, її легко механізувати й автоматизувати. Ефективним методом інтенсифікації газової цементации є нагрівання виробів СВЧ і підвищення температури до 1050... 1070 °С. Цементация — процес дифузійний, тому концентрація вуглецю в поверхневому шарі цементованих виробів змінюється. У зв'язку з цим поступово змінюється й структура поверхневого шару від перлітної до феритно-перлітної зі зменшенням кількості перліту.

Рідинну цементацию здійснюють зануренням деталей у розплавлені солі і витримуванням їх за температури 840...900 °С протягом 0,5...2,0 год. Глибина цементации становить 0,20...0,65 мм. Суміші солей для цементации приблизно такі: 6... 10 % SiC , 75...85 % CaCO_3 , 10...15% NaCl .

Рідинну цементацию застосовують для дрібних деталей, якщо потрібна невелика глибина цементованого шару. Після цементации концентрація вуглецю на поверхні заготовки 0,8... 1,0 %, а структура — перліт і вторинний цементит.

Цементовані вироби зазнають гартування і низького відпуску, внаслідок чого в поверхневому шарі утворюється мартенсит, а маловуглецеве осердя складається з в'язкої феритно-перлітної суміші. Тому цементовані вироби мають високу стійкість до спрацювання, яка поєднується з великим опором ударним навантаженням [Електронний ресурс №1].

Азотуванням — називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом. Вперше був здійснений в 1913 р. М.П. Чижевським.

Азотування проводять для підвищення твердості, стійкості до зношення, границі витривалості і корозійної стійкості сталених виробів. Його перевагами перед цементацией є:

- 1) вища твердість азотованого шару (до 1200HV);
- 2) вища теплостійкість азотованого шару – його твердість зберігається до 450...500 °C;
- 3) вища корозійна стійкість азотованого шару.

Азотування проводять у герметичних камерах при температурі 500...600 °C, в які з певною швидкістю подається аміак. Аміак при цьому розкладається за реакцією:



Атомарний азот абсорбується поверхнею сталей і дифундує вглиб металу.

У системі $Fe - N$ можливо утворення таких фаз:

- ε -фаза – твердий розчин азоту на базі нітриду Fe_3N ;
- γ -фаза – твердий розчин на базі нітриду Fe_4N ;
- α -азотистий ферит з максимальним вмістом 0,42% N при 590 °C і 0,01% N при 20 °C;
- γ -фаза – азотистий аустеніт, який при температурі 590 °C розкладається на евтектоїдну суміш $\alpha + \gamma'$.

Структура азотованого шару складається із механічної суміші твердих розчинів на основі нітридів Fe_4N і Fe_3N . Під цим шаром розміщується азотистий ферит. При наявності в сталі легуючих елементів азот також утворює нітриди: CrN , Cr_2N , Mo_2N , MnN , TiN , AlN , VN . Утворення дисперсних нітридів легуючих елементів перешкоджає руху дислокацій і внаслідок цього підвищують твердість азотованого шару. Найбільш сильно підвищують твердість азотованого шару алюміній, хром, молібден, ванадій. Тому, при необхідності забезпечення високої твердості і стійкості до зношення азотованої деталі, для її виготовлення застосовують середньовуглецеву сталь 38Х2МЮА. Одночасна присутність в даній сталі хрому, молібдену і алюмінію забезпечує твердість після азотування до 1200 HV. Молібден також усуває відпускну крихкість, яка може виникати при повільному охолодженні від температури азотування.

Азотування – дуже повільний процес, який триває, звичайно, до 60 год. Для прискорення процесу застосовують ступінчасте азотування, іонне азотування, азотування в рідких середовищах складу 40 % $KCNO$ + 60 % $NaCN$ (теніфер-процес) [Електронний ресурс №2].

Шестерні гідроагрегати були спроектовані з умов забезпечення необхідної міцності. Як правило, шестерні гідромашин мають великий запас міцності на вигин зуба. А випадки поломок зубів під час роботи досить рідкі в практиці та в експлуатації гідроагрегатів.

Знос зубів шестерень насосів буває особливо великий, коли високий питомий тиск поєднуються з поганими властивостями змащувальних рідин. В практиці та в експлуатації шестеренних гідронасосів високого тиску, що працюють на гасі, часто доводиться стикатися зі зносом цементованих зубів, навіть після нетривалої роботи.

Для отримання високої твердості профілів зубів і зміцнення шестерень застосовують цементацію, азотування, тобто об'ємне і поверхневе загартування. Зміцнення деталей методом хіміко-термічної обробки досягається за рахунок залишкових стискаючих напружень в зміцненому поверхневому шарі. З перерахованих видів хіміко-термічної обробки поверхневого шару найбільш ефективним є азотування, як засіб підвищення зносостійкості зубчастих коліс [7].

Зубчаті колеса які брали участь в досліді були оброблені методом йонного-плазмового азотування розробленому в Інституті проблем міцності ім. Г. С. Писаренко НАН України. При обробці даним методом забезпечується більша твердість поверхневого шару, також при проведенні даного азотування не спостерігається погіршення точності деталей це досягається за рахунок більш низької температури обробки.

1.2. Аналіз методів чистової та оздоблювальної обробки зубчастих коліс.

Спостерігаючи за сучасним розвитком науки та техніки, можна зробити висновок, що зубчасті колеса відіграють значну роль в різних галузях машинобудування. Точно і якісно виготовлені зубчасті пари здатні підвищити

продуктивність, зносостійкість та безшумність роботи механізму чи машини. Для цього існують багато різних методів фінішної обробки зубчастих коліс обкатуванням, шевінгуванням, шліфуванням, притиранням і припрацюванням. Кожен з цих методів має як сильні, так і слабкі сторони.

Шевінгуванням – називається процес чистової фінішної обробки незагартованого зубчастого колеса, який полягає у знятті (зіскоблюванні) дуже дрібних волосоподібних стружок, завдяки чому значно виправляються ексцентриситет початкового кола, похибки у кроці, в профілі евольвенти і в куті підйому гвинтової лінії. Шевінгування (або інакше шевінг-процес) виконується двома способами. За першим способом шевінгування виконується за допомогою спеціального інструменту, який називається шевером. Шевер представляє собою зубчасте колесо з прорізними на бокових сторонах кожного зуба канавками глибиною 0,8 мм. Ці канавки створюють різальні кромки, які зіскоблюють волосоподібну стружку. Одним з основних переваг шевінгування є можливість обмежитись тільки нарізанням зубів на зубофрезерних верстатах (з наступним шевінгуванням), не вдаючись до чистового нарізання на зубодовбальних верстатах. Шевінгування підвищує точність попередньої обробки зубів по деяким показникам приблизно на 1-2 ступеня точності [Електронний ресурс №3]. Схеми методів шевінгування наведені на рисунку 1.1 і рис. 1. 2.

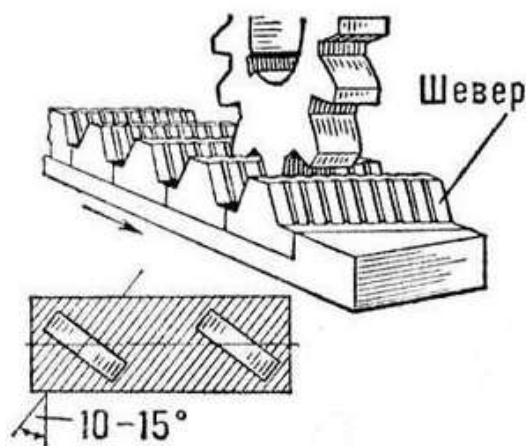


Рисунок 1.1 – Схеми процесу шевінгування шевер-рейкою

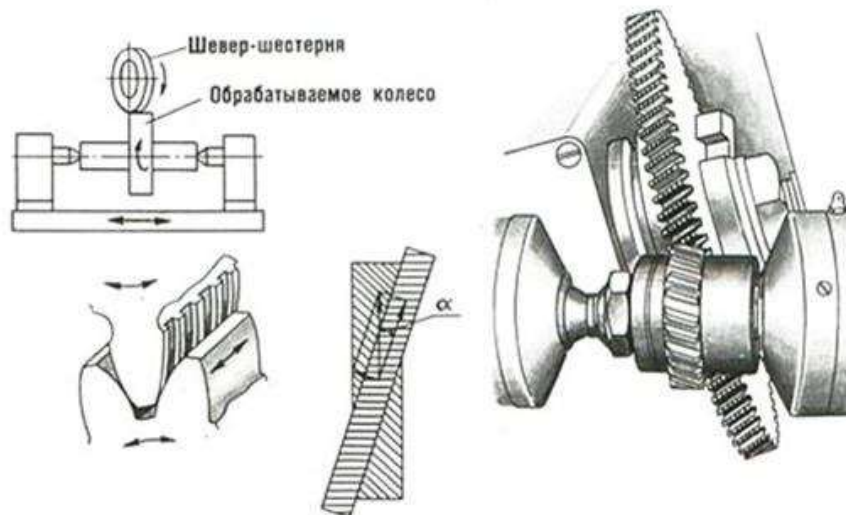


Рисунок 1.2 – Шевінгування дисковим шевером-колесом

Шліфування зубів – це процес обробки зубів після їх загартування. Під час високотемпературного загартування (цементациї) зубчасті колеса, як правило, деформуються, що зменшує їх точність. Зубошліфування дозволяє досягти найвищої точності обробки (3-тя ступінь по ГОСТ 1643-81). При шліфуванні зубів за методом копіювання у випадку зубчастих коліс з великим числом зубів має значне місце зношування шліфувального круга. Якщо зубці шліфуються послідовно, то між першим і останнім зубами буде одержуватись найбільша похибка. Для запобігання цього рекомендується повертати зубчасте колесо не на один зуб, а на декілька. Тоді вплив зношування шліфувального круга не буде давати великої похибки між сусідніми зубами. Досяжна цим методом точність - 0,010-0,015 мм. Другий метод шліфування зубів методом обкату менш продуктивний, але дає більшу точність (до 0,0025 мм). Шліфування виконується одним або двома кругами [Електронний ресурс №3]. Схема різних способів шліфування зубчастих коліс наведено на рисунку 1.3.

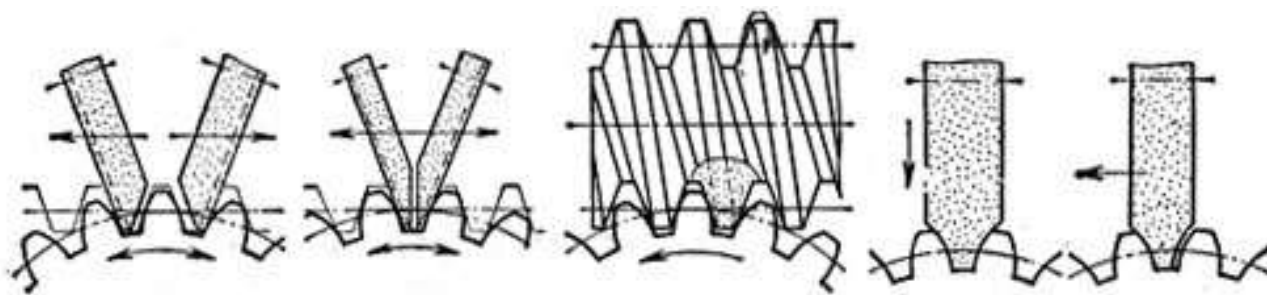


Рисунок 1.3 – Способи шліфування зубчастих коліс

Притирання – широко застосовується для чистової, остаточної фінішної обробки зубів після їх термічної обробки, замість шліфування, яке є операцією порівняно малопродуктивною.

Притирання отримало велике поширення в тих галузях машинобудування, де потрібно виготовлення точних зубчастих коліс (автомобілебудування тощо). Процес притирання полягає в тому, що оброблюване зубчасте колесо обертається у зчепленні з чавунними шестернями-притирами, які приводяться в обертання і змащуються пастою, яка містить суміш дрібного абразивного порошку з мастилом. Крім цього, оброблюване зубчасте колесо і притири мають в осьовому напрямку зворотно-поступальний рух одне відносно одного. Такий рух прискорює процес обробки і підвищує її точність. Загалом рух в осьовому напрямку надається зубчастому колесу, що притирається.

Притирання надає поверхні високої якості, воно згладжує нерівності та шорсткість і надає дзеркального блиску поверхні, значно зменшуючи шум і збільшуючи плавність роботи зубчастих коліс. Притирання дає кращу за якістю поверхню зубів, ніж шліфування, але за умови правильного виготовлення зубчастого колеса, оскільки притиранням можна виправляти лише незначні похибки. За наявності значних похибок зубчасті колеса необхідно спочатку шліфувати, а потім притирати [Електронний ресурс №3]. Схема притирання зубчастих коліс показана рисунку 1.4.

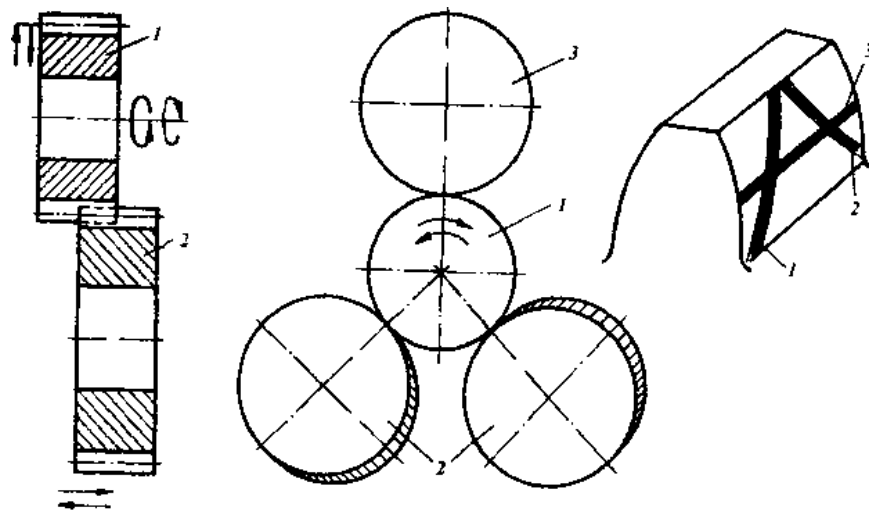


Рисунок 1.4 – Притирання зубчастих коліс.

Припрацювання зубів відрізняється від притирання тим, що притираються не зубчасте колесо з притиром, а два парних зубчастих колеса, виготовлених для спільної роботи у складеній машині. Припрацювання виконується за допомогою абразивного матеріалу, який прискорює взаємне припрацювання зубчастих коліс і надає їм гладку поверхню [Електронний ресурс №3].

Одним з перспективних та ефективним методів чистової обробки загартованих зубчастих коліс є зубохонінгування.

Зубохонінгування – процес чистової або фінішної обробки зубців циліндричних зубчастих коліс, як зовнішнього, так і внутрішнього зачеплення. Обробку виконують інструментом, який являє собою зубчастий хон. Зубохонінгування виконується на спеціальних верстатах. При обробці ріжучим інструментом являється хаотично розташовані на поверхні зубчастого хону абразивні зерна з алмазного або абразивного матеріалу або кубічного нітриту бору.

Процес зубохонінгування, який досліджується в даній магістерській дисертації, потребує більш детального аналізу, вивчення та більш досконалої технології.

1.3. Аналіз способів зубохонінгування.

Спостерігаючи за сучасним розвитком машинобудування в Україні, можемо зробити висновок, що зубохонінгування є перспективним методом оздоблювальної обробки зубчастих коліс. Класичні схеми зубохонінгування наведені на рисунку 1. 5, рисунку 1. 6.

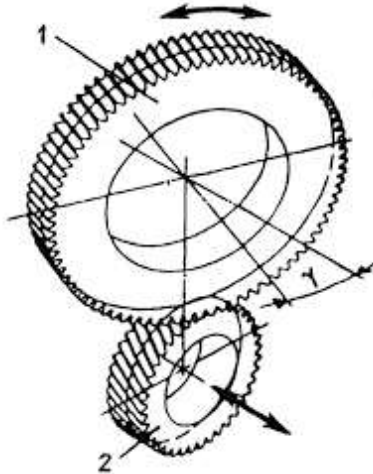


Рисунок 1.5 – Хонінгування із зовнішнім зачепленням зубців

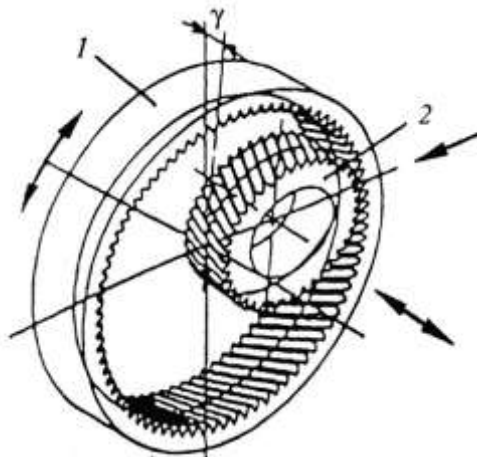


Рисунок 1.6 – Хонінгування з внутрішнім зачепленням зубців

В ІНМ імені В.М. Бакуля НАН України розроблені та впроваджені на багатьох підприємствах СНГ алмазні зубчасті дискові хони із зовнішнім зачепленням (рисунок 1.7.)



Рисунок 1.7 – Алмазний зубчастий хон із зовнішнім зачепленням.

Процес зубохонінгування із зовнішнім зачепленням при знятті припуску від 0,01-0,1 мм шорсткість поверхні становить до $R_a = 0,32 \dots 1,25$ мкм, воно здатне видалити забоїни і задирки на поверхні зуба величиною до 0,1-0,3 мм і знизити рівень шуму при зачепленні та роботі зубчастої передачі на 2 - 4 дБ. При цьому точність зубців усуваються несуттєво.

Традиційні методи зубохонінгування дисковими зубчастими хонами з звичайних абразивів та НТМ мають цілий ряд недоліків [9]:

- необхідність використовувати спеціальні, високої вартості зубохонінгувальні верстати імпортного виробництва;
- нерівномірність шорсткості по висоті зуба при зубохонінгуванні дисковими зубчастими хонам через різні швидкості ковзання по висоті зуба, а також значні динамічні навантаження при спряженні зубців при обробці;
- складність оснащення при виготовленні алмазних дискових зубчастих хонів.

Ведучі іноземні фірми в області технології викінчувальної обробки зубчастих передач, як-от Gleason, Kapp, Liebherr, Fassler, Samputensili, Koepfer Prawena та складнопрофільних інструментів виходять на високий рівень в даній

сфері зубообробки. Прикладом можуть бути розробки таких фірм, як Karr і Fassler.

Зубохонінгування хонем з внутрішнім зачепленням застосовують в серійному та масовому виробництві для зменшення шорсткості робочої поверхні до $Ra = 0,1 \dots 0,8$ мкм, підвищення точності зубів на одну ступінь (до 6-7 ступеня точності по ГОСТ 1643-81), також зниження рівня шуму при роботі зубів в зацепленні і видалення невеликих вибоїн та задирок на поверхні. Зубчасті хони, використовувані при зубохонінгуванні, можуть бути, як правлячими, так і неправлячими. Абразивний матеріал у правлячих зубчастих хонів з внутрішнім зачепленням, як правило, використовується електрокорунд або мікрокристалічний корунд, який має розмір зерна $88 \dots 149$ мкм. Для правлячих хонів використовують керамічні зв'язки і також використовують епоксидні штучні смоли. За рахунок крихкості та низьких демфіруючих особливостей даних зв'язок абразивні зерна в процесі роботи мають критичний знос, та під дією сили різання відламуються з поверхні зубчастого хона, завдяки цьому відкриваються для роботи інші абразивні зерна. Таким чином, забезпечується самозагострювання зубчастого хону в процесі роботи. Зазвичай в практиці застосовують співвідношення об'ємних часток: абразив - 50%, зв'язка - 40% і пори - 10%.

Зубохонінгування з відтворенням внутрішнього зачеплення має здатність суттєво виправляти похибки зубів колеса, що виникають на попередніх операціях технологічного процесу. При зубохонінгуванні покращується точність та якість зубів при накопиченій похибці кроку F_{pr} , по радіальному биттю.

Результати вимірювання та випробувань показали, що точність зубів після 4-х робочих ходів підвищується в середньому в два рази. При наступних робочих ходах двох або чотирьох робочих ходах точність підвищується несуттєво. Штучний час обробки однієї шестерні $t_{шт} = 0,91$ хв., який складається з машинного часу $t_m = 0,72$ хв., також допоміжного $t_{доп} = 0,15$ хв., це час який витрачається на правку зубчастого хона, тобто час який витрачається на обробку одного колеса складає $t_{пр} = 0,04$ хв. Проаналізувавши отримані результати,

можна сказати, що зубохонінгування є достатньо продуктивним методом фінішної обробки зубчастих коліс.

Ще однією перевагою зубохонінгування перед зубошліфуванням є те, що шорсткість при хонінгуванні досягає показників $R_a = 0,25-0,3$, при такій шорсткості металевий контакт в зубчастому зачепленні майже відсутній, це приводить до підвищення працездатності зубчастих пар. Перевагою малої шорсткості при хонінгуванні зубців є те, що в процесі обробки утворюються мікро різи, які здатні у процесі роботи зубчастого колеса в механізмі або машині утримувати мастильну плівку товщиною 3-5мкм і тим самим мінімізувати знос.

В Інституті надтвердих матеріалі ім. В.М. Бакуля НАН України був розроблений і реалізований новий метод зубохонінгування, алмазними еластичними черв'ячними хонами (рисунок 1.8.) [2].

Новий метод зубохонінгування ліквідує вищевказані недоліки притаманні методам зубохонінгування дисковими зубчатими хонами, також він не потребує спеціальних верстатів і може бути реалізований на горизонтально фрезерних та плоскошліфувальних верстатах. Дослідно-промислові випробування нового методу фінішної обробки шестерень гідронасосів після проведення цементації та чистового фрезерування черв'ячними фрезами «FETTE» на Кіровоградському заводі «Гідросила» показали його перспективність і високу ефективність, але водночас виявили незначні недоліки даної технології обробки. На деяких колесах після зубохонінгування на евольвентній поверхні були виявлені необроблені поверхні шириною до 1мм. Також на поверхнях зубів була виявлена чорнота. Тому в даній магістерській дисертації були поставлені задачі по дослідженню зміни параметрів шорсткості при зубохонінгуванні після шевінгування та азотування зубчастих коліс.



Малюнок 1.8 – Загальний вигляд алмазного еластичного черв'ячного хону.

Даний метод дав змогу досягти якості поверхонь $Ra = 0,15$ мкм при початковій шорсткості зубчастого колеса $Ra = 0,4 - 0,8$ мкм. Показники точності при цьому були не змінні.

1.4. Висновки. Ціль та задачі дослідження.

Згідно з аналізом літературних джерел в даній магістерській дисертації для досягнення мети дисертації необхідно вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати переваги зубохонінгування черв'ячними хонами.
2. Удосконалити спосіб зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами.
3. Розробити методику та підготувати дослідження процесу зубохонінгування після зубошевінгування та вакуумної іонно-плазмової термоциклічної обробки.
4. Провести дослідження процесу зубохонінгування після зубошевінгування та вакуумної йонно-плазмової термоциклічної обробки
5. Розробити технологічну інструкцію та рекомендації по впровадженню алмазного зубохонінгування.
6. Розробити стартап.

2. РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТЕОРИТИЧНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1. Теоретичне обґрунтування нового способу зубохонінгування.

Особливістю проектування (синтезу) зубчастих передач є те, що проектується не кожне зубчате колесо, а два зубчасті колеса, які складають зубчасту передачу і загалом проектування кожного циліндричного зубчастого колеса з прямолінійною або гвинтовою лінією зуба покладений вихідний контур, який в особливому випадку може бути ідентичний для спряжених зубчастих коліс передачі (наприклад, в евольвентній зубчастій передачі виготовленій згідно з ГОСТ) [10]. Тому для аналізу та синтезу циліндричної зубчатої передачі спочатку необхідно вирішити задачу теоретичного формоутворення кожного зубчатого колеса вихідним формоутворюючим контуром (в даному випадку обернену задачу формоутворення), який є контршаблоном вихідного контуру циліндричного зубчатого колеса.

Кінематична схема оберненого формоутворення циліндричного зубчастого колеса згідно з теорією відображення афінного простору представлена на рисунку 2.1.

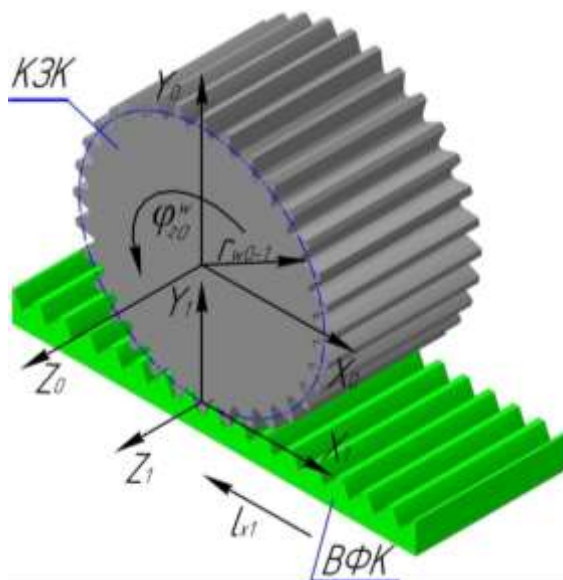


Рисунок 2.1 – Кінематична схема оберненого теоретичного формоутворення прямозубого циліндричного зубчастого колеса

КЗК – контур зубчастого колеса;

ВФК – вихідний формоутворюючий рейковий контур;

Вихідний формоутворюючий рейковий контур, як контшаблон вихідного контуру, в системі координат $X_1Y_1Z_1$ рухається з параметром Lx_1 , а система координат $X_1Y_1Z_1$ рухається одночасно в нерухомій системі координат $X_0Y_0Z_0$ з параметром z_0 пов'язаним (тобто залежним функціонально) з параметром Lx_1 рівнянням зв'язку. Згідно з кінематичною схемою формоутворення контур заготовки циліндричного зубчастого колеса є нерухомим, а рухається тільки вихідний формоутворюючий рейковий контур.

Істотний вплив на підвищення надійності зубчастих передач здійснюють їх конструктивні параметри, тобто модуль, число зубів, кут нахилу лінії зуба параметри вихідного контуру, зміщення вихідного контуру, модифікація поверхні зуба, параметри перехідної кривої, точність та якість поверхневого шару робочої поверхні зубчастого колеса. Всі ці параметри визначає конструктор на основі аналізу теоретичного формоутворення і можливостей існуючої технології. Але для покращення якісних показників зубчастої передачі необхідно проаналізувати множину можливих варіантів технології, які можна реалізувати з найменшими затратами.

Всі ці питання конструктор вирішує при синтезі підсистеми теоретичного формоутворення. Конструктор, розробляючи зубчасту передачу для конкретних умов експлуатації, може також оцінити надійність передачі, маючи для цього відповідний математичний апарат.

Визначення геометрії вихідного формоутворюючого контуру та параметрів його зміщення для конкретного циліндричного зубчастого колеса передачі є основною задачею конструктора.

Шум і вібрації зубчастих коліс при роботі механізму є узагальнюючими показниками якості виготовлення і складання зубчастих передач. Внутрішні збудники шуму – це похибки зубчастих коліс і похибки їх монтажу, а також зміна жорсткості зубів при спряженні зубів [11].

Після розробки конструкції зубчастої передачі вирішальний вплив на її експлуатаційні показники має технологія їх виготовлення. В результаті розробки технології виготовлення зубчастої передачі, особливостей її монтажу та експлуатації може виникнути необхідність зміни геометрії, наприклад, технологічна, конструктивна або експлуатаційна модифікація зубчастої передачі [12].

Це ще раз підтверджує, що теоретичне та технологічне формоутворення необхідно розглядати в одній технічній системі. Навіть при заданій геометрії зубчастої передачі, при розробці технології її виготовлення можна керувати в певних межах параметрами вихідного контуру, що може забезпечити підвищення якості обробки не погіршуючи при цьому інших якісних показників зубчастої передачі.

Показники якості виготовлення зубчастих передач є непрямыми показниками їх надійності [12]. Найбільш повні дослідження щодо впливу непрямих показників надійності на межу витривалості, знос і критичне питоме навантаження, заїдання зубчастих коліс виконав Е.Н. Гуліда [12].

Забезпечення необхідної якості виготовлення зубчастої передачі має істотний вплив на основні види руйнування зубчастих вінців - втомне викришування, знос, поломки від перевантажень, задири і заїдання, відколи і знос торців передач [13,11].

Для кількісної оцінки надійності зубчастих передач приймають такі непрямі показники [12]:

- ступінь точності зубчастого вінця (для циліндричних евольвентних зубчастих коліс по ГОСТ 1643-81);
- шорсткість обробленої поверхні;
- структура поверхневого шару, що характеризується мікротвердістю;
- залишкові напруги;
- структура основного матеріалу, характеристикою якої для кількісної оцінки може бути твердість.

Так межа згінної і контактної витривалості з підвищенням ступеня точності (точність колеса при цьому знижується), підвищенням шорсткості, зниженням мікротвердості (при цьому знижується). Зі зниженням точності зубчастих вінців підвищується інтенсивність зношування. Інтенсивність зношування від параметрів шорсткості носить екстремальний характер. З підвищенням мікротвердості інтенсивність зношування зменшується. Залишкові напруження впливають неоднозначно на процес зношування зубів. Якщо при накладенні залишкових напружень на напруження від зовнішнього навантаження відбувається зменшення результуючих максимальних напружень, то в цьому випадку залишкові напруги збільшують запас міцності в пружній області і знижують інтенсивність зношування поверхонь тертя зубів. При пластичному контакті зубів залишкові напруги не впливають на інтенсивність зношування поверхневого шару. Залишкові напруги стиснення зменшують інтенсивність зношування, розтягуючи - підвищують її. Зниження точності зубчастого вінця, тобто підвищення ступеня точності, підвищує ймовірність заїдання зубів.

У сучасних ринкових умовах щоб утримати або розширити ринки збуту вітчизняних машин і механізмів необхідно підвищувати якість виготовлення зубчастих передач і знижувати собівартість їх виготовлення.

Отже, оптимізація технологічного процесу виготовлення зубчастих передач забезпечує підвищення точності обробки, створення оптимальних параметрів шорсткості, рівня залишкових напружень та мікротвердості поверхні зубчастих вінців, що забезпечить істотне підвищення надійності зубчастих передач, а отже, і надійність різних машин і механізмів [12].

Аналіз літературних джерел показує, що найбільш проблематичними, технологічними операціями при виготовлення зубчастих передач є термообробка та викінчувальна обробка зубчастих коліс зубохонінгуванням, але з урахуванням етапів усього життєвого циклу зубчастої передачі [14, 15].

Як показав аналіз та попередні дослідження, можливо прогнозувати суттєве підвищення зносостійких властивостей циліндричних зубчастих передач довговічності, надійності, моменту зрушування та інших експлуатаційних

показників за рахунок використання при термообробці вакуумного йонно-плазмового термоциклічного азотування та більш ефективного способу алмазного зубохонінгування з використанням модернізованих серійних плоскошліфувальних верстатів вітчизняного виробництва [15].

Базова технологія виготовлення шестерень гідромашин включає наступні операції:

- Токарна
- Зубонарізна чорнова.
- Зубошевінгувальна.
- Цементация.
- Шліфовка (торців, шийок, зовнішнього діаметра).

В результаті аналізу базової технології виготовлення шестерень і перспективних нових технологій, які дозволяють підвищити якість їх виготовлення, можливо запропонувати наступні технології (Табл.2.1)

Таб 2.1 Нові технології виготовлення шестерень гідромашин.

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	I.	<ul style="list-style-type: none"> • Токарна. • Шліцефрезерна. • Зубонарізна чорнова. • Зубошевінгувальна. • Цементация. • Шліфовка (торців, шийок, зовнішнього діаметра). • Зубохонінгувальна алмазними черв'ячними хонами.
	II.	<ul style="list-style-type: none"> • Токарна. • Шліцефрезерна. • Зубофрезерна чорнова. • Зубошевінгувальна. • Шліфовка (торців, шийок, зовнішнього діаметра). • Азотування.

		<ul style="list-style-type: none"> • Зубохонінгувальна алмазними черв'ячними хонами.
	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Токарна. • Шліцефрезерна. • Зубофрезерна чорнова. • Зубфрезерна чистова. • Шліфовка (торців, шийок, зовнішнього діаметра) • Азотування. • Зубохонінгувальна алмазними черв'ячними хонами.
	IV.	<ul style="list-style-type: none"> • Токарна. • Шліцефрезерна. • Зубофрезерна чорнова. • Цементация. • Зубофрезерна чистова. • Шліфовка (торців, шийоук, зовні зовнішнього діаметра). • Зубохонінгувальна алмазними черв'ячними хонами.
	V.	<ul style="list-style-type: none"> • Токарна. • Шліцефрезерна. • Зубофрезерна чорнова. • Зубошліфувальна. • Шліфовка (торців, шийок, зовнішнього діаметра). • Азотування. • Зубохонінгувальна алмазними черв'ячними хонами.
	VI.	<ul style="list-style-type: none"> • Токарна. • Шліцефрезерна. • Зубофрезерна. • Цементация. • Зубошліфувальна.

		<ul style="list-style-type: none"> • Шліфівка (торців, шийок, зовнішнього діаметра). • Зубохонінгувальна алмазними черв'ячними хонами.
--	--	--

В даній магістерській дисертації досліджується другий варіант технології виготовлення.

Так, в порівнянні з широко використовуваними способами хіміко-термічної обробки сталевих деталей, такими, як цементация, нітроцементация, ціанування і газове азотування в печах, а також, об'ємного або ТВЧ загартування, метод вакуумного йонно-плазмового термоциклічного азотування, який має наступні основні переваги:

- більш висока поверхнева твердість азотованих деталей;
- відсутність деформації деталей після обробки;
- підвищення межі витривалості і збільшення зносостійкості оброблених деталей;
- більш низька температура обробки, завдяки чому, в сталі не відбувається структурних перетворень;

Слід відмітити, що в Україні є значні досягнення в розробці сучасних методів азотування [15].

Традиційні методи зубохонінгування дисковими зубчастими хонами з звичайних абразивів та НТМ мають цілий ряд недоліків [9]:

- необхідність використовувати спеціальні, високої вартості зубохонінгувальні верстати імпортного виробництва;
- нерівномірність шорсткості по висоті зуба при зубохонінгування дисковими зубчастими хонам, через різні швидкості ковзання по висоті зуба, а також значні динамічні навантаження при спряженні зубців при обробці;
- низька стійкість абразивних зубчастих хонів із звичайних абразивів.
- складність оснащення при виготовленні алмазних дискових зубчастих хонів.

Вперше розроблена методика проектування алмазних черв'ячних еластичних хонів та програма в системі MathCAD. Розроблені конструкції та дослідні зразки алмазних черв'ячних еластичних хонів. Розроблений новий спосіб зубохонінгування на серійних верстатах та пристосування для зубохонінгування. Приведені результати попередніх випробувань процесу зубохонінгування на фрезерних та шліфувальних верстатах, які показали його перспективність. Зменшення шорсткості з Ra 0.3- 0.4мкм до Ra 0.1-0,15мкм при різних технологіях чистових кінцевих операціях обробки зубчатих передач, а саме: чорнове зубофрезерування – шевінгування – цементация – зубохонінгування.

Основним недоліком традиційного методу зубохонінгування є великі динамічні навантаження, що виникають в процесі обробки зубчастих коліс. Ці навантаження мають поганий вплив на процес зубохонінгування загалом, динамічні навантаження при процесі зубохонінгування, які виникають в зв'язці інструменту і деталі, приводять до швидшого зносу хона і можуть призвести до його руйнування. А при процесі зубохонінгування черв'ячними хонами динамічні навантаження в процесі обробки зубчастих коліс значно менша. Дана теорія підтвердилася при проведенні наступних розрахунків:

Таблиця 2.2 Вихідні данні

Діаметр хона (ø)	Швидкість обертання (об/хв)
Ø 200	500 об/хв
Ø 100	200 об/хв
Діаметр колеса (ø)	ø 40 мм

Розрахунок:

Для визначення діаметру хону застосовуємо наступну формулу:

$$d_{1x} = m \cdot Z = 200 = 2.5 \cdot Z_x (2.1)$$

Де:

d_{1x} – діаметр хону;

m – модуль зубчастого колеса;

Z – число зубців зубчастого колеса;

При вираженні формули (1) отримуємо число зубців хону.

$$Z_z = \frac{200}{2.5} = 80$$

$$d_{2x} = 100 = 2.5 \cdot Z_x$$

$$Z_k = 40$$

$$Z_r = 40 \text{ мм}$$

Після проводим розрахунок для визначення числа зубців колеса.

$$40 = 2,5 \cdot Z_k = Z_k = \frac{40}{2,5} = 16 \quad (2.2)$$

Де:

Z_k – кількість зубців колеса;

Z_z – число зубців хону;

Далі проводимо розрахунок швидкості різання при ($n=500$ об/хв) :

$$V_{x1} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 200 \text{ мм} \cdot 500}{1000} = 314 \frac{\text{мм}}{\text{хв}} \quad (2.3)$$

Де:

d – діаметр хону;

n – число обертів;

$$V_{x2} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 100 \cdot 500}{1000} = 157 \text{ мм/хв}$$

Знаходимо швидкість обертання колеса з формулою:

$$V_{к2} = V_x \cdot \frac{Z_x}{Z_k} = \frac{157 \cdot 40}{16} = 392,5 \text{ м/хв}$$

Де:

Z_k – кількість зубців колеса;

Z_x – число зубців хону;

V_x – швидкість обертання хону;

Розрахунки для швидкості хону $V_{x1} = 314 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$ та при куті схрещування

$$\beta = (5; 15; 85)^\circ$$

$$V_p = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) \quad (2.4)$$

Де:

V_p – швидкість різання.

V_i – швидкість хону;

$$V_{p1} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 314 \cdot (\cos 5 \cdot \tan 0 + \sin 5) = 21,03 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 0,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{p2} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 314 \cdot (\cos 15 \cdot \tan 0 + \sin 15) = 78,0 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{p3} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 314 \cdot (\cos 40 \cdot \tan 0 + \sin 40) = 201 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 3,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{p4} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 314 \cdot (\cos 60 \cdot \tan 0 + \sin 60) = 271 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 4,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{p3} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 314 \cdot (\cos 88 \cdot \tan 0 + \sin 88) = 313 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 5,21 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

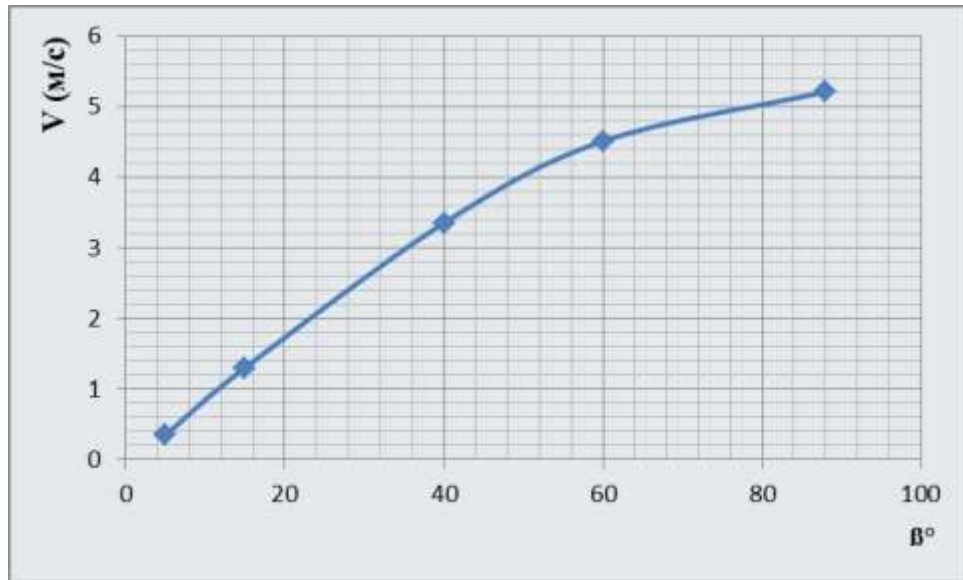


Рисунок 2.2 – Графік залежності швидкості від кута β при $V_{x2} = 314 \frac{M}{XB}$.

Розрахунок для швидкості хону $V_{x2} = 157 \frac{M}{XB}$ та при куті схрещування $\beta = (5; 15; 40; 60; 85)^\circ$

$$V_p = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i)$$

$$V_{p1} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 157 \cdot (\cos 5 \cdot \tan 0 + \sin 5) = 13,68 \frac{M}{XB} = 0,28 \frac{M}{c}$$

$$V_{p2} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 157 \cdot (\cos 15 \cdot \tan 0 + \sin 15) = 40,63 \frac{M}{XB} = 0,68 \frac{M}{c}$$

$$V_{p3} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 157 \cdot (\cos 40 \cdot \tan 0 + \sin 40) = 100,9 \frac{M}{XB} = 1,68 \frac{M}{c}$$

$$V_{p4} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 157 \cdot (\cos 60 \cdot \tan 0 + \sin 60) = 135,9 \frac{M}{XB} = 2,26 \frac{M}{c}$$

$$V_{p5} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 157 \cdot (\cos 88 \cdot \tan 0 + \sin 88) = 156,9 \frac{M}{XB} = 2,61 \frac{M}{c}$$

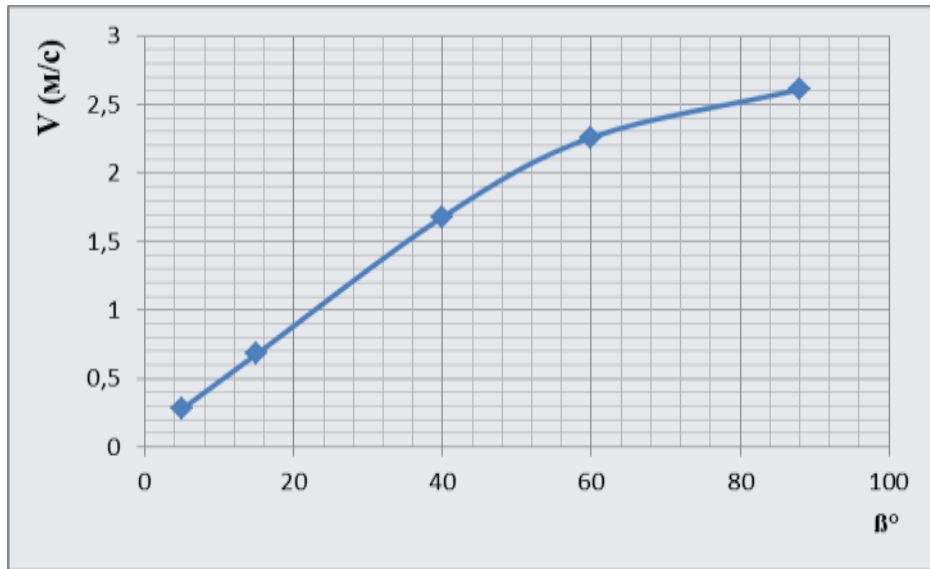


Рисунок 2.3 – Графік залежності швидкості від кута β при $V_{x2} = 157 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$.

Розрахунок при ($n=200$ об/хв) :

$$V_{x1} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 200 \cdot 200}{1000} = 125,6 \text{ м/хв}$$

$$V_{x2} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 100 \cdot 200}{1000} = 62,8 \text{ м/хв}$$

$$V_{k1} = V_x \cdot \frac{Z_x}{Z_k} = \frac{125,6 \cdot 80}{16} = 628 \text{ м/хв}$$

$$V_{k2} = V_x \cdot \frac{Z_x}{Z_k} = \frac{62,8 \cdot 40}{16} = 157 \text{ м/хв}$$

Розрахунок для швидкості хону $V_{x2} = 125,6 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$ та при куті схрещування

$$\beta = (5; 15; 40; 60; 85)^\circ$$

$$V_p = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i)$$

$$\begin{aligned} V_{p1} &= V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 125,6 \cdot (\cos 5^\circ \cdot \tan 0^\circ + \sin 5^\circ) = 10,94 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \\ &= 0,18 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

$$V_{p2} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 125,6 \cdot (\cos 15 \cdot \tan 0 + \sin 15) = 32,5 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$$

$$= 0,54 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p3} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 125,6 \cdot (\cos 40 \cdot \tan 0 + \sin 40) = 80,73 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$$

$$= 1,34 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p4} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 125,6 \cdot (\cos 60 \cdot \tan 0 + \sin 60) = 108,77 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$$

$$= 1,81 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p5} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 125,6 \cdot (\cos 88 \cdot \tan 0 + \sin 88) = 125,5 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$$

$$= 2,09 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

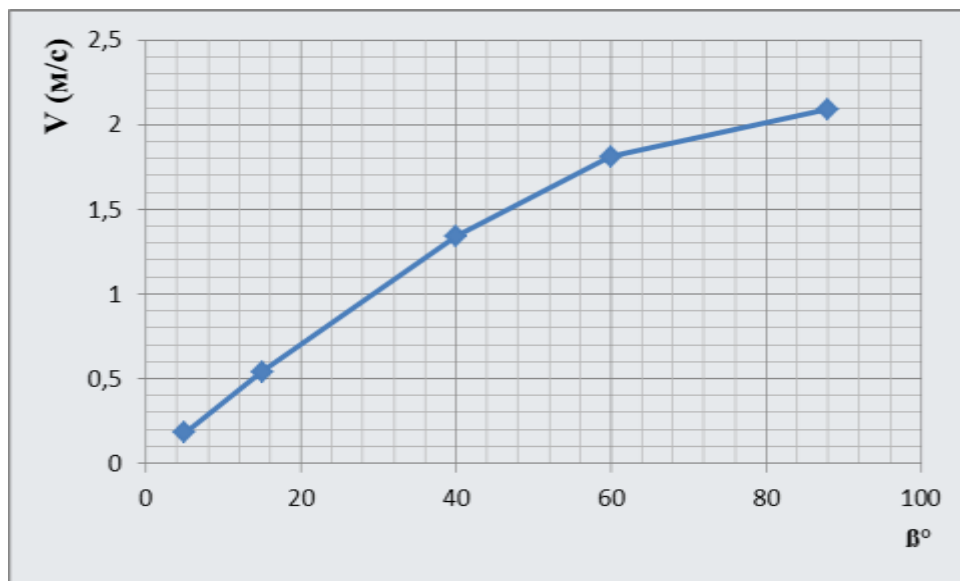


Рисунок 2.4 – Графік залежності швидкості від кута β при $V_{x2} = 125,6 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$.

Розрахунок для швидкості хону $V_{x2} = 62,8 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$ та при куті схрещування $\beta = (5; 15; 40; 60; 85)^\circ$.

$$V_p = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i)$$

$$V_{p1} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 62,8 \cdot (\cos 5 \cdot \tan 0 + \sin 5) = 5,41 \frac{\text{М}}{\text{XB}} = 0,09 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p2} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 62,8 \cdot (\cos 15 \cdot \tan 0 + \sin 15) = 16,25 \frac{\text{М}}{\text{XB}} \\ = 0,27 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p3} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 62,8 \cdot (\cos 40 \cdot \tan 0 + \sin 40) = 40,36 \frac{\text{М}}{\text{XB}} \\ = 0,67 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p4} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 62,8 \cdot (\cos 60 \cdot \tan 0 + \sin 60) = 54,38 \frac{\text{М}}{\text{XB}} \\ = 0,9 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$V_{p5} = V_i \cdot (\cos \beta_i \cdot \tan \beta_d + \sin \beta_i) = 62,8 \cdot (\cos 88 \cdot \tan 0 + \sin 88) = 62,76 \frac{\text{М}}{\text{XB}} \\ = 1,04 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

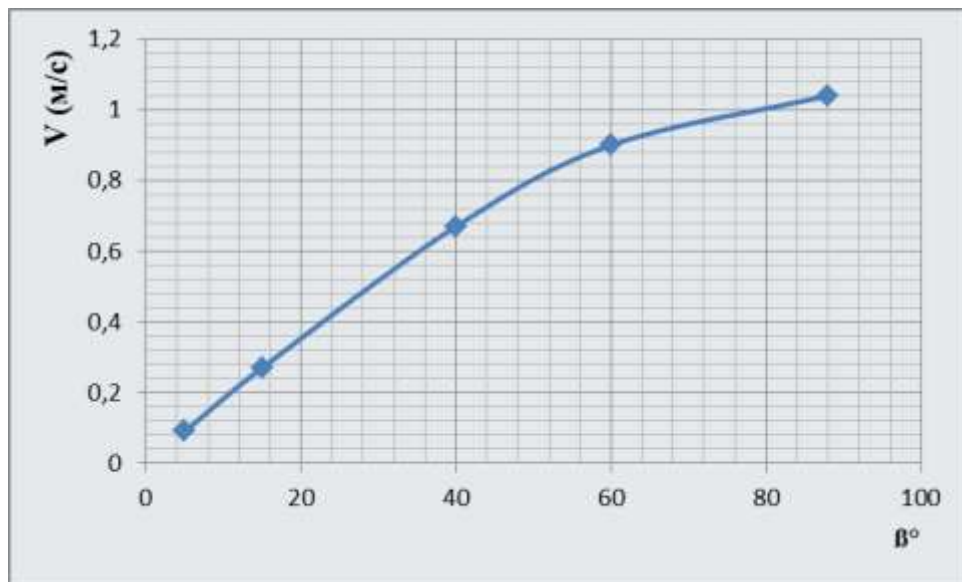


Рисунок 2.5 – Графік залежності швидкості від кута β при $V_{x2} = 62,8 \frac{\text{М}}{\text{XB}}$.

2.2 Удосконалення пристосування для зубохонінгування.

Базова кінематична схема зубохонінгування дисковим зубчастим хоном представлена на рисунку 2.6. Зубчасте колесо на кінематичній схемі 2.6.

закріплене в пристосуванні, яке має пружний зв'язок з столом верстата. Аналогічна кінематична схема зубохонінгування була прийнята при зубохонінгуванні черв'ячним хонем рис.2.7. Але перші дослідження цієї кінематичної схеми показали її недоліки.

Основним недоліком конструкції такого пристрою є мала вібростійкість. Тобто в процесі обробки в зоні різання виникають великі вібрації, які в свою чергу можуть приводити до припалів на поверхні зуба, а в гіршому випадку до руйнування коштовного хону. Ще одним важливим недоліком даної схеми зубохонінгування є спеціальний верстат. Тому даний пристрій не отримав широкого застосування у виробництві.

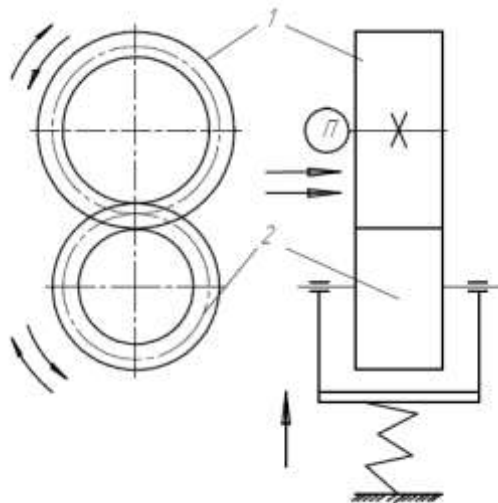


Рисунок 2.6 – Базова кінематична схема зубохонінгування зубчастих коліс зубчатими дисковими хонами по пружній схемі.

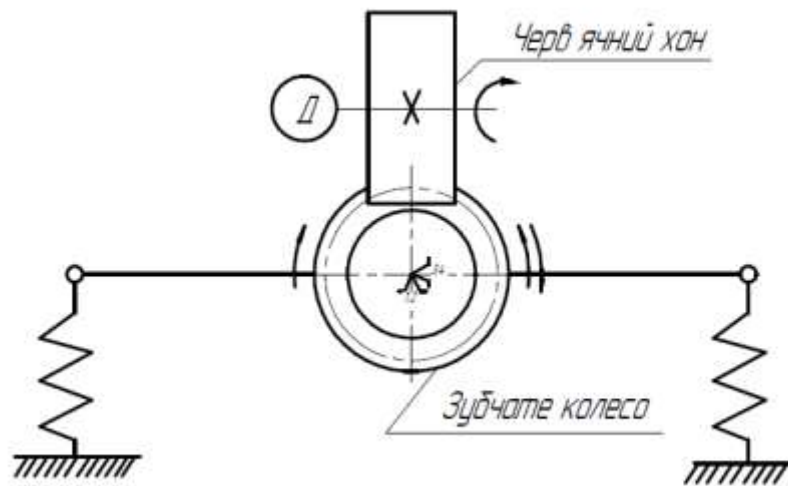


Рисунок 2.7 – Кінематична схема зубохонінгування алмазним черв'ячним еластичним хонм по пружній схемі.

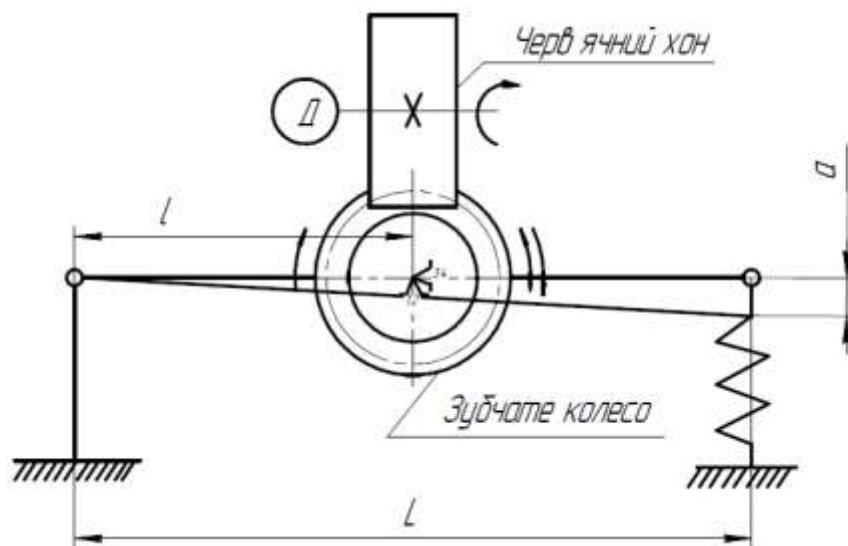


Рисунок 2.8 – Кінематична схема зубохонінгування алмазним черв'ячним еластичним хонм по асиметричній пружній схемі.

При обробці зубчастих коліс новим методом зубохонінгування, оброблювальне зубчасте колесо має пружний контакт з зубчастим хонм і при обробці коливається вздовж міжосьового перпендикуляру між віссю хона та віссю оброблювального зубчастого колеса. Доказом цього є проведені розрахунки:

$$\tan \alpha = \frac{a}{L} = \frac{0,8}{80} = 0,01 \quad (2.5)$$

$$\arctan 0.01 = 0.57^\circ \quad (2.6)$$

$$\alpha = 0.57^\circ$$

$$\beta = \frac{180 - \alpha}{2} = \frac{180 - 0.57}{2} = 89.71^\circ \quad (2.7)$$

$$\gamma = 90 - \beta = 90 - 89.71 = 0.29^\circ \quad (2.8)$$

$$L = 2 * l * \sin \frac{\alpha}{2} = 2 * 40 * \sin \frac{0.57}{2} = 0.39 \text{ мкм} \quad (2.9)$$

$$x = L * \sin \gamma = 0.39 * \sin 0.29 = 0.0019 \text{ мкм} \quad (2.10)$$

Основною перевагою над традиційним методом зубохонінгування є те, що зубчате колесо додатково коливається перпендикулярно міжосьовому перпендикуляру, також при обробці зубчате колесо коливається з зубцевою частотою. Також при обробці даний метод не потребує додаткових рухів столу верстату, що значно підвищує продуктивність.

2.3 Тарування пристосування для зубохонінгування.

Для тарування пристрою для зубохонінгування в роботі було застосовано динамометр ДОСМ-3-0,1. Даним приладом можна виміряти необхідну силу притиску хону до оброблюваного колеса. Динамометри в залежності від вимірювальних складових поділяються на однокомпонентні, двокомпонентні та трьохкомпонентні. Для досліду було взято однокомпонентний динамометр.

Тарування динамометра було проведено в наступній послідовності. На стіл верстата було встановлено та закріплено пристрій для зубохонінгування, потім за допомогою робочих рухів столу було створено попередній натяг між зубчатим колесом і хонем, між якими був закріплений динамометр. Потім за показниками проведених дослідів при навантаженні та розвантаженні динамометра було

встановлено необхідну силу притиску хону до оброблюваної шестерні, яка становила 200 Н. Методика проведення тарування проведена на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Тарування пристрою.

Результати дослідів вимірювання зусилля притиску наведені на графіку.

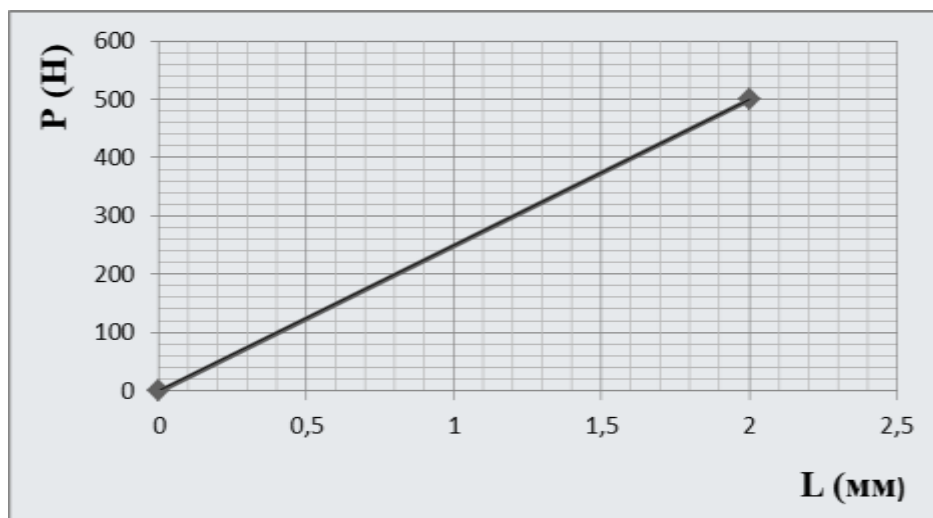


Рисунок 2.10 – Результати тарування.

Дані отримані після побудови графіку наведені в таблиці 2.3.

Сила P (Н)	Підйом столу L (мм)
120	0,5
240	1
390	1,5
500	2

2.4 Вибір верстата для зубохонінгування.

Сучасні верстати є дуже продуктивними та універсальними за рахунок числового програмного керування. На теперішньому ринку існує багато різних верстатів для фінішної обробки зубчастих коліс. Основними лідерами в обробці зубчастих коліс є фірма LIEBHERR, верстати цієї фірми наведені на рисунку 2.11 та фірма FASSLER, верстати наведені на рисунку 2.12. Вони пропонують нові сучасні верстати з програмним керуванням, які здатні повністю автоматизувати весь цикл фінішного оброблення зубчастого колеса.



Рисунок – 2.11

LIEBHERR LGG- 180.

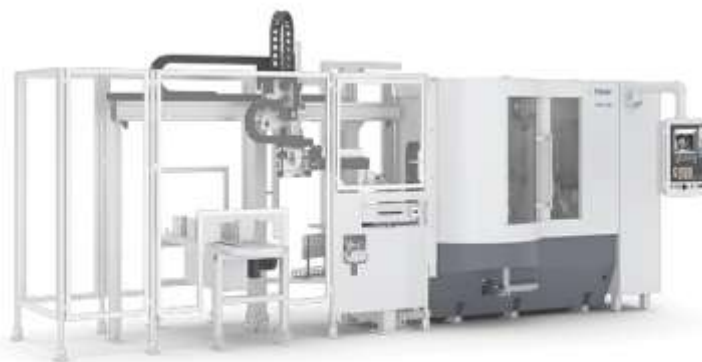


Рисунок 2.12 – FASSLER HMX-400.

Але сучасні верстати для фінішної обробки зубчастих коліс, зокрема і зубохонінгування є дуже дорогими. І багато виробництв не в змозі придбати собі це обладнання.

Метод оброблення зубчастих коліс еластичними черв'ячними хонами не потребує такого коштовного обладнання. Обробку можна проводити на звичайному горизонтально-фрезерному верстаті, використавши лише спеціальний пристрій. В даному випадку всі випробування проводилися на горизонтально-фрезерному верстаті моделі 6М82Ш.



Рисунок 2.13 – Верстат 6М82Ш.

Даний верстат на горизонтальному шпинделі дозволяє закріпити еластичний черв'ячний хон і закріпити пружний пристрій на столі верстату. Технічні характеристики верстату наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Технічні характеристики верстату 6М82Ш.

Технические характеристики	Параметры
Размеры рабочей поверхности стола, мм	320 x 1250
Класс точности по ГОСТ 8-71	П
Наибольшее продольное перемещение стола, мм	800
Наибольшее поперечное перемещение стола, мм	320
Наибольшее вертикальное перемещение стола, мм	420
Скорость быстрого продольного перемещения стола, м/мин	4000
Скорость быстрого поперечного перемещения стола, м/мин	4000
Скорость быстрого вертикального перемещения стола, м/мин	1330
Частота вращения горизонтального шпинделя, мин-1	16 - 1600
Подача стола, продольная, мм/мин	12,5 - 1600
Подача стола, поперечная, мм/мин	12,5 - 1600
Подача стола, вертикальная, мм/мин	4,1 - 530
Конус горизонтального шпинделя	ISO 50
Конус вертикального шпинделя	ISO 40
Мощность электродвигателя основного двигателя, кВт	7,5
Мощность электродвигателя подач стола, кВт	3
Максимальная масса обрабатываемой детали с приспособлением, кг	1000
Максимальное продольное и поперечное тяговое усилие приводов стола, Н	40000
Максимальное вертикальное тяговое усилие приводов стола, Н	25000
Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола, мм	30 - 450
Расстояние от оси шпинделя до хобота, мм	155
Расстояние от торца шпинделя поворотной головки до стола, мм	35 - 535
Расстояние от оси шпинделя поворотной головки до станины, мм	260 — 820
Габаритные размеры станка (Д x Ш x В), мм	2470 X 1950 X 1950
Масса станка с электрооборудованием, кг	3300

2.5 Вибір оптимальних режимів зубохонінгування зубчастих коліс після зубошевінгування і термообробки.

Режими різання є одним з найважливіших факторів, які впливають на якість та точність оброблюваних поверхонь. Оптимально та правильно вибрані режими дають змогу підвищити продуктивність і також забезпечать довшу довговічність роботи інструменту, що є немаловажливим фактором в процесі обробки. Правильно підібрані режими різання при зубохонінгуванні дають змогу запобігти зношуванню хону і запобігають виникненню припалів на поверхнях зубців. Також важливу роль при хонінгуванні відіграє мастильно-охолоджувальна рідина, її повинно бути в достатку в зоні роботи так, щоб вона встигала виводити з робочої зони стружку та інші металеві включення.

Таблиця 2.5 Режими зубохонінгування.

Найменування параметра	Од. виміру	Значення
Частота обертів хона	об/хв	205-320
Поздовжня подача	мм/хв	25-50
Кількість робочих ходів	шт	4-12
Радіальне навантаження в зачепленні	Н	100
Час одного проходу хонінгування при ширині вінця В = 11 мм і розміром подачі S = 27мм в хв	сек	50

Мастильно-охолоджувальна рідина- Гас - 10% + індустріального масла 20 - 90%

2.6 Вибір пристроїв та методики вимірювань результатів досліджу.

Метод вимірювання – прийом або сукупність прийомів порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею відповідно до реалізованого принципу вимірювань.

Тут під принципом вимірювань розуміється фізичне явище або ефект, покладені в основу виміру тим або іншим типом засобів вимірювань.

Для даного досліджу були застосовані різні пристрої для контролю і виміру результатів, основним з яких є пристрій для виміру шорсткості поверхонь профілометра ПМ-10. Профілометр моделі ПМ-10 з опорним датчиком є зручним в експлуатації приладом для вимірювання шорсткості поверхні. Наявність USB порту дозволяє підключати прилад до ПК, аналізувати результати вимірювань і документувати.

Для розширення області застосування профілометри забезпечуються різними типами датчиків і мають можливість вимірювати параметри шорсткості на площинах, орієнтованих під різними кутами в просторі, легко встановлюються на стійках і штативах. Рисунок профілометра наведений на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Профілометр ПМ-10.

Також в даній роботі для проведення тарування було використано динамометр ДОСМ-3-01 для контролю зусилля притиску черв'ячного хону до оброблюваного колеса. Динамометр зразковий переносний ДОСМ-3-0,1 3-го розряду призначений для повірки робочих засобів вимірювань відповідно до ГОСТ. Габаритні розміри - 260x50x145мм.

Технічні характеристики приладів динамометри ДОСМ-3-0,1 приведені в таблиці 2.6.

Табл 2.6 Технічні характеристики ДОСМ-3-0,1

Межі вимірювань	Ціна найменшої поділки шкали	Розмах показань динамометра	Поріг чутливості динамометра	При розвантаженні динамометра ДОСМ-3-0,1
найбільша - 1,0кН найменша - 0,10кН	не більше 0,2%	<ul style="list-style-type: none"> • від 10% до 20% - не більше 0,5% вимірюваного значення • понад 20% до 100% - не більше 0,3% вимірюваного значення 	не більше 0,02%	позначку не більше 0,5 поділу

Загальний вигляд динамометра приведений на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Динамометр ДОСМ-3-0,1

Для виміру зовнішнього контролю був використаний штангельзубомір. Він призначений для вимірювання відстані між різнойменними бічними поверхнями (товщини) зуба циліндричних прямозубих і косозубих коліс зовнішнього зачеплення 11-й і 12-го ступенів точності ГОСТ 1643-81 по постійній хорді або по хорді ділильної окружності. Загальний вид на рисунку 2.16.



Рисунку 2.16 – Штангельзубомір.

2.7 Технологія для зубохонінгування.

Завдання полягає в тому, щоб забезпечить необхідну якість поверхонь зубчастих коліс при найбільшій точності колеса.

Також було використано еластичні черв'ячні хони для зубохонінгування, характеристики яких наведені в таблиці 2.6. А креслення черв'ячного хону представлено на рисунку 2.17.

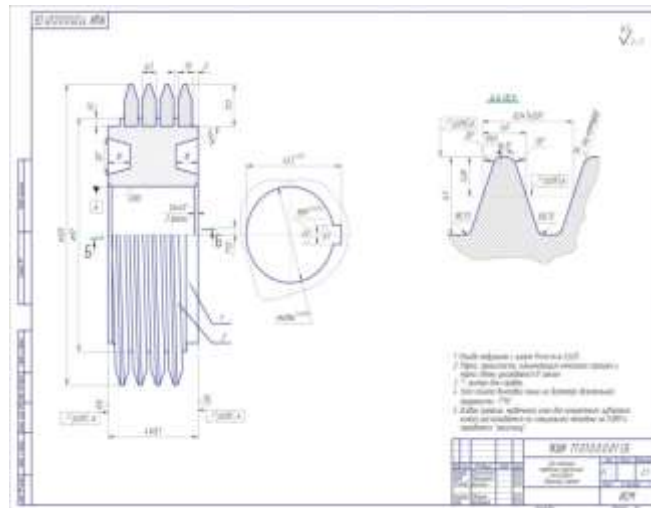


Рисунок 2.17 – Черв'ячний еластичний хон.

Табл. 2.7 Характеристика черв'ячних алмазних еластичних хонів.

Найменування параметра	Чисельне значення
	m=2,625 (мм)
Зовнішній діаметр	125 (мм)
Крок за нормами до профілю	8,242 (мм)
Кут профілю вихідного контуру	20 (град)
Число заходів	1 (шт)
ітькість витків	3 (шт)
Розміри профілю в нормальному перетині	3,28(мм)
	4,0 (м)
Зернистість хону	28/20-125/10-63/40 (мкм)

Для зубохонінгування одним з найважливіших елементів при обробці є мастильно-охолоджувальна рідина, яка потрапляє в зону обробки і виводить стружку та інші продукти з зони контакту зубчастого колеса і хону.

Загальні рекомендації по вибору МОР:

1. Для правильного вибору мастильно-охолоджувальної рідини потрібно визначитися з матеріалом заготовки та інструменту.
2. Потім потрібно визначитися з необхідними режимами для обробки.
3. Найбільш низьков'язкі рідини зазвичай використовують для обробки твердих сплавів або кераміки, а також при обробці хонінгуванням.
4. Рідини з більш жорсткою в'язкістю застосовують при обробці деталей з незагартованого матеріалу матеріалів, а також при чорновому хонінгуванні.

Після того, як визначилися з технологією, підібрали режими різання, потрібно підібрати інструмент, інструментом є еластичний черв'ячний хон, який наведено на рисунку 2.18.



Рис 2.18 – Хон для зубохонінгування.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ХОНІНГУВАННЯ ЗУБЦІВ ПІСЛЯ ШЕВІНГУВАННЯ.

3.1 Послідовність проведення дослідів.

Для проведення випробувань ПАТ «Гідросила» надав ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України 33 зубчастих шестерень модулем 2,625 мм після шевінгування та термообробки.

Методика випробувань полягає в тому:

1. Приймально-здавальні випробування процесу зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами проводилися в лабораторних умовах відділу № 20 Інституту надтвердих матеріалів на широкоуніверсальному фрезерному верстаті мод. 6М82Ш з використанням спеціального пристосування, яке здатне забезпечити пружний зв'язок в парі інструмент-деталь.
2. Всі надані шестерні були пронумеровані та були проведені вимірювання за параметрами точності на ПАТ «Гідросила». На комплексі оснащеним приладом ПМ-10 фірми «Мікротех» в Інституті.
3. Кожну оброблену шестерню зубохонінгуванням перед проведенням виміру шорсткості ретельно було промито в уайтспіриті та просушено, а потім протерто.
4. На кожній шестірні до і після зубохонінгування заміряють шорсткість на двох зубах, з обох бічних поверхонь зубів уздовж лінії зуба і уздовж торцевого перетину.
5. Профілограму шорсткості до та після зубохонінгування при кожному проведенні кожного виміру було оброблено, після чого інформація записана в базу даних.
6. Також визначаються та записуються параметри якості поверхневого шару такі як: Ra; Rg; Rz, а також опорна крива.
7. Також було визначено зміну припуску на зубі за допомогою штангельзубоміра.

3.2 Мета і задачі випробування зубохонінгування.

Метою випробувань була оцінка шорсткості шестерень гідромашин в напрямку бічної поверхні зубів шестерень та вздовж лінії зуба. Після термічної обробки, а також зубошевінгування та зубохонінгування. Проведення вимірювання результатів на обладнанні ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України та надання об'єктивної оцінки даної технології. Характеристики оброблюваних шестерень приведені в таблиці 3.1.



Рисунок 3.1 – Оброблювана шестерня.

Табл. 3.1 Характеристика оброблюваних шестерень.

Кількості	33 шт
Модуль	2,625 мм
Кількість зубів	12 зубів
Ширина зубчастих вінців	10-15 мм
Кут нахилу лінії зуба	0°
Характеристика профілю	евольвента
Параметри вихідного контуру	ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт зміщення вихідного контуру	+0,1
Ступінь точності по	ГОСТ 13755-81

До задачі проведених випробувань на виробництві входило проаналізувати вплив на якість поверхні при різних зернистостях черв'ячного хону, зернистість якого була в межах (28/ 20; 125/100; 63/40), при режимах продольної подачі до 25мм/хв та підвищення кількості проходів робочих ходів до 12 ходів, оскільки в попередніх дослідженнях при виконанні обробки зернистість хонів була в межах 50/40 та максимальна кількість робочих ходів дорівнювала трьом, а повздовжня подача-50 мм/хв. Це не дало змогу повною мірою оцінити якість оброблюваної поверхні.

3.3 Програма випробувань методу хонінгування після шевінгування та азотування.

Програма випробувань полягає в тому, щоб провести досліди нової технології зубохонінгування після шевінгування та азотування. В роботі було використано спеціальне пристосування, яке дало змогу досягти оптимальних показників якості за рахунок пружного зв'язку з оброблюваною шестернею, а також за рахунок виникнення в процесі обробки коливальних рухів якість поверхні значно збільшилася, це вдалося досягти за рахунок особливої конструкції пристосування. Обробку було проведено на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6М82Ш, оскільки конструкція хону та пристрої дали змогу використовувати обладнання, яке можна знайти на більшості виробництв. При обробці потрібно було заміряти силу притиску, яка виникала в процесі роботи, це було необхідно виконати для того, щоб запобігти виникненню припалів на поверхнях зубів, а також можливого руйнування хону. Дану задачу було вирішено за допомогою використання динамометра ДОСМ-3-01. Методику проведення вимірювання можна спостерігати на рисунку 3.2-3.3.



Рисунок 3.2 – Проведення вимірювання



Рисунок 3.3 – Методика вимірювання
допомогою динамометра ДОСМ-3-01.

Після проведення дослідів було встановлено, що оптимальна сила різання, за якої задовольняються всі вимоги, становить 200Н. У разі такої сили різання та використання мастильно-охолоджувальної рідини якість поверхні була найкращою.

Також при обробці було потрібно визначити кут схрещування між шестерною і хоном, було визначено оптимальний кут схрещування, який становить $\gamma = 1^\circ$.

Для контролю оброблюваних шестерень було використано комплекс відділу №20 з оснащенням на ньому приладом ПМ-10. Результати вимірювань були збережені в базу даних, а потім були переведені в таблиці, за якими були побудовані графіки результатів експерименту. Комплекс для контролю якості оброблених шестерень за новою технологією наведений на рисунку 3.4-3.5.



Рисунок 3.4 – Комплекс



Рисунок 3.5 – Проведення вимірювань.

Вихідні параметри точності і шорсткості шестерень наведені в таблиці нижче.

Таблиця 3.2 Параметри шестерень.

№ п/п	Найменування параметра	Од. вимір у	Чисельне значення	
			до хонінгу вання	після хонінгуванн я
1	2	4	5	6
1.	Сумарна похибка профілю	мкм	≤ 28	≤ 28
2.	Похибка форми профілю	мкм	≤ 28	≤ 28
3.	Похибка нахилу профілю	мкм	$\leq \pm 20$	$\leq \pm 20$
4.	Накопичена похибка кроку	мкм	≤ 40	≤ 40
5.	Радіальне биття зубчастого вінця	мкм	≤ 32	≤ 32
6.	Похибка направляючої лінії бічної поверхні зуба	мкм	10,0	10,0
7.	Шорсткість уздовж	мкм	0,6-0,3	

	евольвентного профілю бічної поверхні зуба (по результатам вимірів)			
8.	Шорсткість уздовж направляючої лінії бічної поверхні зуба (по результатам вимірів)	мкм	0,33-0,076	

3.4 Результати дослідів.

Результати дослідів проведені у вигляді таблиць та графіків, які дають змогу загалом оцінити отримані результати.

Результати заміру параметра шерохватості R_a згідно з ISO 4287 до і після зубохонінгування при зернистості алмазного черв'ячного хону 125/100 наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Результати вимірювань до і після зубохонінгування. При зернистості хону 125/100.

№ п/п	№ деталі	№ зуба	Сторон а зуба	Шорсткість після зубофрезерування R_a , мкм		Шорсткість після зубохонінгування R_a , мкм	
				Вздовж лінії зуба	По профілю	Вздовж лінії зуба	По профілю
1	2170 4 дв. хода	1	1	0,329	0,250	0,218	0,412
				0,316	0,250	0,206	0,394
				0,314	0,233	0,186	0,392
			2	0,258	0,965	0,156	0,379
				0,282	0,974	0,163	0,365
				0,233	0,935	0,156	0,370

		2	1	0,327 0,332 0,331	0,228 0,221 0,222	0,210 0,230 0,225	0,349 0,348 0,348
			2	0,212 0,252 0,241	0,989 0,965 0,950	0,194 0,207 0,166	0,367 0,357 0,351
			1	1	0,329 0,332 0,333	0,242 0,235 0,230	0,161 0,160 0,153
				2	0,362 0,363 0,3663	0,373 0,363 0,359	0,181 0,170 0,174
				2	1	0,303 0,305 0,305	0,221 0,229 0,233
				2	0,389 0,387 0,391	0,422 0,410 0,410	0,219 0,200 0,194
2	2171 4 дв. хода	1	1	0,329 0,332 0,333	0,242 0,235 0,230	0,161 0,160 0,153	0,324 0,292 0,287
			2	0,362 0,363 0,3663	0,373 0,363 0,359	0,181 0,170 0,174	0,348 0,330 0,319
			2	1	0,303 0,305 0,305	0,221 0,229 0,233	0,150 0,151 0,143
				2	0,389 0,387 0,391	0,422 0,410 0,410	0,219 0,200 0,194
				1	0,303 0,305 0,305	0,221 0,229 0,233	0,150 0,151 0,143
				2	0,389 0,387 0,391	0,422 0,410 0,410	0,219 0,200 0,194
3	2172 4 дв. хода	1	1	0,338 0,352 0,337	0,253 0,247 0,261	0,254 0,227 0,217	0,339 0,338 0,342
			2	0,377 0,379 0,376	0,374 0,360 0,364	0,182 0,202 0,238	0,396 0,369 0,356
			2	1	0,320 0,320 0,321	0,265 0,263 0,256	0,177 0,233 0,234
				1	0,320 0,320 0,321	0,265 0,263 0,256	0,177 0,233 0,234
				1	0,320 0,320 0,321	0,265 0,263 0,256	0,177 0,233 0,234
				1	0,320 0,320 0,321	0,265 0,263 0,256	0,177 0,233 0,234

			2	0,388 0,392 0,391	0,338 0,328 0,328	0,201 0,194 0,199	0,380 0,363 0,350
4	2173 4 дв. хода	1	1	0,379	0,218	0,259	0,320
				0,364	0,230	0,230	0,329
				0,350	0,220	0,233	0,316
			2	0,346	0,316	0,207	0,303
				0,346	0,299	0,211	0,312
				0,340	0,300	0,212	0,350
		2	1	0,394	0,238	0,232	0,311
				0,396	0,199	0,212	0,298
				0,403	0,211	0,233	0,288
			2	0,327	0,359	0,196	0,324
				0,328	0,351	0,182	0,314
				0,328	0,344	0,161	0,304
5	2174 4 дв. хода	1	1	0,292	0,239	0,217	0,335
				0,293	0,227	0,227	0,355
				0,292	0,222	0,220	0,352
			2	0,358	0,282	0,220	0,406
				0,363	0,243	0,166	0,395
				0,362	0,275	0,165	0,389
		2	1	0,232	0,234	0,216	0,333
				0,233	0,233	0,215	0,338
				0,223	0,234	0,180	0,316
			2	0,230	0,220	0,159	0,434
				0,224	0,197	0,166	0,417
				0,217	0,214	0,170	0,427

6	2175 4 дв. хода	1	1	0,335	0,256	0,189	0,373
				0,342	0,270	0,201	0,324
				0,334	0,238	0,196	0,316
			2	0,320	0,331	0,154	0,355
				0,321	0,340	0,160	0,354
				0,324	0,344	0,158	0,362
		2	1	0,347	0,235	0,179	0,345
				0,343	0,253	0,164	0,320
				0,338	0,243	0,153	0,309
			2	0,367	0,312	0,148	0,354
				0,372	0,340	0,140	0,367
				0,377	0,336	0,163	0,372

7	2176 4 дв. хода	1	1	0,348	0,614	0,160	0,339
				0,347	0,627	0,161	0,311
				0,350	0,611	0,168	0,304
			2	0,375	0,950	0,186	0,303
				0,376	0,952	0,180	0,310
				0,365	0,948	0,173	0,317
		2	1	0,373	0,543	0,164	0,388
				0,366	0,583	0,165	0,410
				0,365	0,520	0,161	0,380
			2	0,385	0,925	0,152	0,296
				0,400	0,845	0,161	0,295
				0,390	0,916	0,181	0,294

8	2177 4 дв.	1	1	0,330	0,563	0,171	0,273
				0,334	0,556	0,188	0,272
				0,341	0,548	0,159	0,273

	хода		2	0,357 0,354 0,357	0,534 0,499 0,487	0,145 0,141 0,143	0,312 0,309 0,304					
			2	1	0,327 0,334 0,332	0,387 0,390 0,387	0,272 0,238 0,198	0,332 0,328 0,331				
					2	0,396 0,384 0,380	0,469 0,519 0,506	0,141 0,153 0,186	0,325 0,315 0,303			
		9				2178 4 дв. хода	1	1	0,404 0,408 0,402	0,215 0,229 0,234	0,156 0,167 0,160	0,348 0,368 0,373
			2	0,239 0,243 0,244					0,850 0,758 0,852	0,170 0,170 0,213	0,402 0,360 0,349	
				2	1				0,315 0,322 0,314	0,240 0,229 0,211	0,172 0,150 0,159	0,367 0,330 0,353
							2	0,406 0,375 0,395	0,752 0,674 0,672	0,217 0,191 0,199	0,333 0,319 0,342	
			10					2179 4 дв. хода	1	1	0,329 0,332 0,333	0,242 0,235 0,230
				2	0,362 0,363 0,3663						0,373 0,363 0,359	0,181 0,170 0,174

		2	1	0,303	0,221	0,150	0,355
				0,305	0,229	0,151	0,319
				0,305	0,233	0,143	0,308
			2	0,389	0,422	0,219	0,341
				0,387	0,410	0,200	0,339
				0,391	0,410	0,194	0,338

За даними з таблиці було побудовано криву розсіювання шорсткості до і після зубохонінгування при зернистості хону 125/100.

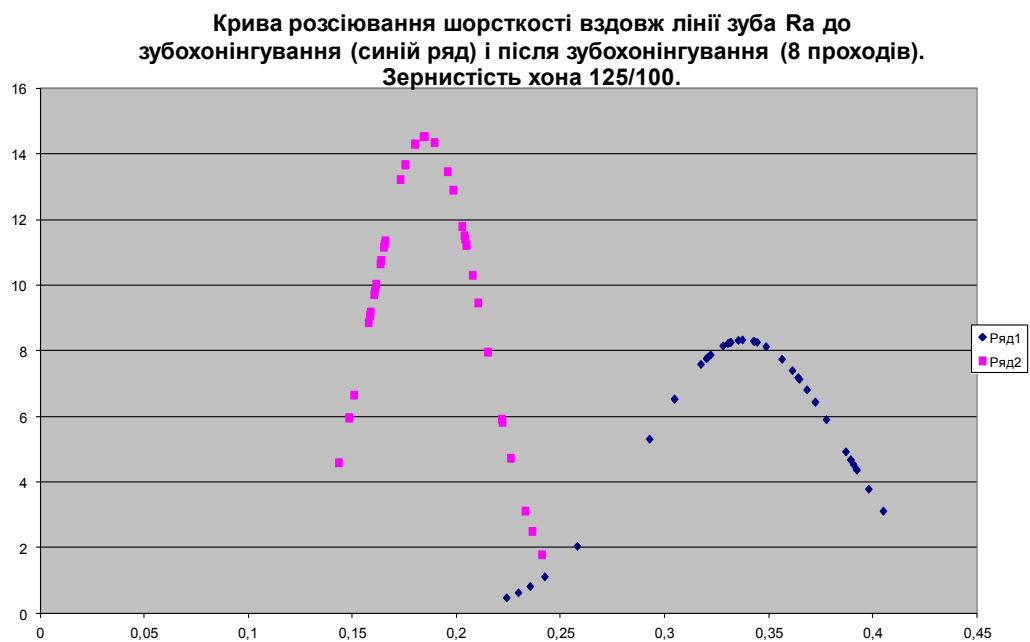


Рисунок 3.6 – Крива розсіювання шорсткості до і після хонінгування вздовж лінії зуба. Зернистість хону 125/100



Рисунок 3.7 – Крива розсіювання шорсткості до і після хонінгування по профілю зуба. Зернистість хону 125/100

Результати дослідів при зернистості хону 63/40 наведені в наступних таблицях та графіках.

Результати заміру параметра шероховатості R_a згідно з ISO 4287 до і після зубохонінгування при зернистості алмазного черв'ячного хону 63/40 наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Результати вимірювань до і після зубохонінгування. При зернистості хону 63/40.

№ п/п	№ деталі	№ зуба	Сторон а зуба	Шорсткість після зубофрезерування R_a , мкм		Шорсткість після зубохонінгування R_a , мкм	
				Вздовж лінії зуба	По профілю	Вздовж лінії зуба	По профілю
1	2170 4 дв.	1	1	0,339	0,260	0,178	0,372
				0,326	0,260	0,166	0,354
				0,324	0,243	0,146	0,352

	хода		2	0,268 0,292 0,243	0,975 0,984 0,945	0,116 0,123 0,116	0,339 0,325 0,330				
			2	1	0,337 0,342 0,321	0,238 0,231 0,232	0,170 0,190 0,185	0,300 0,308 0,308			
					2	0,252 0,262 0,251	0,999 0,975 0,960	0,154 0,167 0,126	0,327 0,317 0,311		
		2				1	0,339 0,342 0,343	0,252 0,245 0,240	0,121 0,120 0,113	0,284 0,252 0,247	
			2	0,372 0,373 0,373			0,383 0,373 0,369	0,141 0,130 0,134	0,308 0,290 0,279		
				2	1		0,313 0,315 0,315	0,231 0,239 0,243	0,110 0,111 0,103	0,315 0,279 0,268	
						2	0,399 0,397 0,401	0,432 0,420 0,420	0,179 0,160 0,154	0,301 0,299 0,298	
			3				2172	1	1	0,348 0,352 0,347	0,263 0,257 0,271
				2	0,387 0,389 0,386					0,384 0,370 0,374	0,142 0,162 0,198

		2	1	0,330 0,330 0,331	0,275 0,273 0,266	0,137 0,193 0,194	0,332 0,285 0,294
			2	0,398 0,402 0,401	0,348 0,338 0,338	0,161 0,154 0,159	0,340 0,323 0,310
			1	0,389 0,374 0,360	0,228 0,240 0,230	0,219 0,190 0,193	0,280 0,289 0,276
				0,356 0,356 0,350	0,326 0,319 0,310	0,167 0,171 0,172	0,263 0,272 0,310
				0,404 0,406 0,413	0,248 0,209 0,221	0,192 0,172 0,193	0,271 0,258 0,248
			2	0,337 0,338 0,338	0,369 0,361 0,354	0,156 0,142 0,121	0,284 0,274 0,264
4	2173 4 дв. хода	1	1	0,389 0,374 0,360	0,228 0,240 0,230	0,219 0,190 0,193	0,280 0,289 0,276
			2	0,356 0,356 0,350	0,326 0,319 0,310	0,167 0,171 0,172	0,263 0,272 0,310
			2	0,404 0,406 0,413	0,248 0,209 0,221	0,192 0,172 0,193	0,271 0,258 0,248
		2	1	0,404 0,406 0,413	0,248 0,209 0,221	0,192 0,172 0,193	0,271 0,258 0,248
			2	0,337 0,338 0,338	0,369 0,361 0,354	0,156 0,142 0,121	0,284 0,274 0,264
			2	0,337 0,338 0,338	0,369 0,361 0,354	0,156 0,142 0,121	0,284 0,274 0,264
5	2174 4 дв. хода	1	1	0,302 0,303 0,302	0,249 0,237 0,232	0,177 0,187 0,180	0,295 0,315 0,312
			2	0,368 0,373 0,372	0,292 0,253 0,285	0,180 0,126 0,125	0,366 0,355 0,349
			2	0,242 0,243 0,233	0,244 0,243 0,244	0,176 0,175 0,140	0,293 0,298 0,276
		2	1	0,242 0,243 0,233	0,244 0,243 0,244	0,176 0,175 0,140	0,293 0,298 0,276
			2	0,368 0,373 0,372	0,292 0,253 0,285	0,180 0,126 0,125	0,366 0,355 0,349
			2	0,242 0,243 0,233	0,244 0,243 0,244	0,176 0,175 0,140	0,293 0,298 0,276

			2	0,240 0,234 0,227	0,230 0,207 0,224	0,119 0,126 0,130	0,394 0,377 0,387
6	2175 4 дв. хода	1	1	0,345 0,352 0,344	0,266 0,280 0,248	0,149 0,161 0,156	0,333 0,284 0,276
				0,330 0,331 0,334	0,341 0,350 0,354	0,114 0,120 0,118	0,315 0,314 0,322
				0,357 0,353 0,348	0,245 0,263 0,253	0,139 0,124 0,113	0,305 0,280 0,269
		2	1	0,357 0,353 0,348	0,245 0,263 0,253	0,139 0,124 0,113	0,305 0,280 0,269
				0,377 0,382 0,387	0,322 0,350 0,346	0,108 0,100 0,123	0,314 0,327 0,332
				0,385 0,386 0,375	0,960 0,962 0,958	0,146 0,140 0,133	0,263 0,270 0,277
		2	1	0,383 0,376 0,375	0,553 0,593 0,530	0,124 0,125 0,121	0,348 0,370 0,340
				0,395 0,410 0,400	0,935 0,855 0,926	0,112 0,121 0,141	0,256 0,255 0,254
7	2176 4 дв. хода	1	1	0,358 0,357 0,360	0,624 0,637 0,621	0,120 0,121 0,128	0,299 0,271 0,264
				0,385 0,386 0,375	0,960 0,962 0,958	0,146 0,140 0,133	0,263 0,270 0,277
				0,383 0,376 0,375	0,553 0,593 0,530	0,124 0,125 0,121	0,348 0,370 0,340
		2	1	0,383 0,376 0,375	0,553 0,593 0,530	0,124 0,125 0,121	0,348 0,370 0,340
				0,395 0,410 0,400	0,935 0,855 0,926	0,112 0,121 0,141	0,256 0,255 0,254
				0,385 0,386 0,375	0,960 0,962 0,958	0,146 0,140 0,133	0,263 0,270 0,277
		2	1	0,383 0,376 0,375	0,553 0,593 0,530	0,124 0,125 0,121	0,348 0,370 0,340
				0,395 0,410 0,400	0,935 0,855 0,926	0,112 0,121 0,141	0,256 0,255 0,254

8	2177	1	1	0,340	0,573	0,131	0,233
				0,344	0,566	0,128	0,232
				0,351	0,558	0,119	0,233
			2	0,367	0,544	0,105	0,272
				0,364	0,509	0,101	0,269
				0,367	0,497	0,103	0,264
		2	1	0,337	0,397	0,232	0,292
				0,344	0,400	0,198	0,288
				0,342	0,397	0,158	0,291
			2	0,406	0,479	0,101	0,285
				0,394	0,529	0,113	0,275
				0,390	0,516	0,146	0,263

9	2178	1	1	0,414	0,225	0,116	0,308
				0,418	0,219	0,127	0,328
				0,412	0,224	0,120	0,333
			2	0,249	0,860	0,130	0,362
				0,253	0,768	0,130	0,320
				0,254	0,862	0,153	0,309
		2	1	0,325	0,250	0,132	0,327
				0,332	0,239	0,110	0,290
				0,304	0,221	0,119	0,313
			2	0,416	0,762	0,177	0,293
				0,385	0,684	0,151	0,279
				0,405	0,682	0,159	0,302

10	2176	1	1	0,339	0,252	0,121	0,284
				0,342	0,245	0,120	0,252
				0,343	0,240	0,113	0,247

	хода		2	0,372	0,383	0,141	0,308
				0,373	0,373	0,130	0,290
				0,373	0,369	0,134	0,279
		2	1	0,313	0,231	0,110	0,315
				0,315	0,239	0,111	0,279
				0,315	0,243	0,103	0,268
			2	0,399	0,432	0,179	0,301
				0,397	0,420	0,160	0,299
				0,401	0,420	0,154	0,298

За даними з таблиці було побудовано криву розсіювання шорсткості до і після зубохонінгування при зернистості хону 125/100.

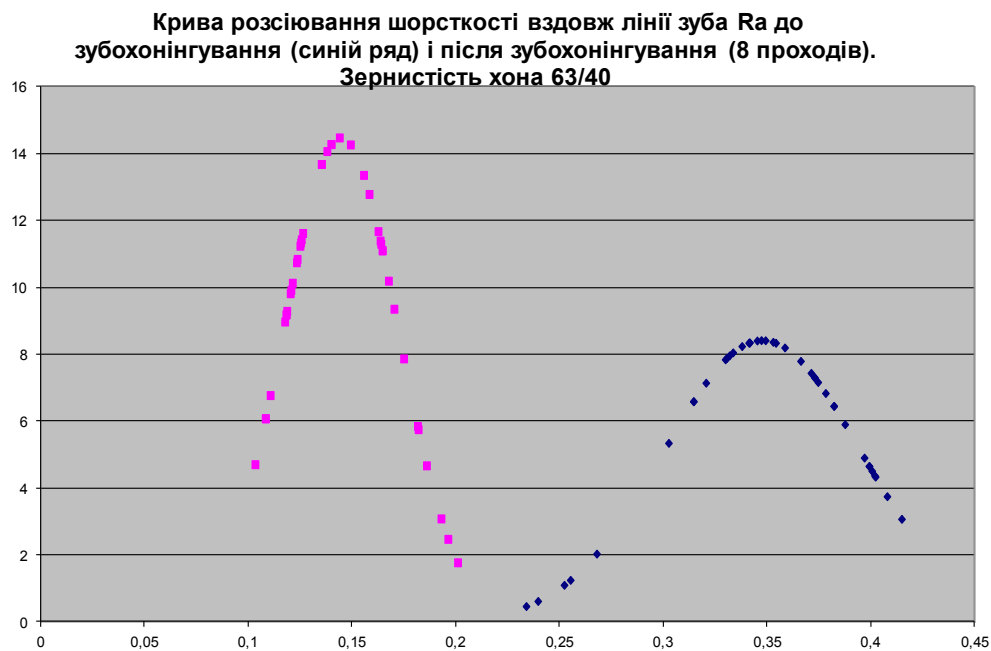


Рисунок 3.8 – Крива розсіювання шорсткості до і після хонінгування вздовж лінії зуба. Зернистість хону 63/40

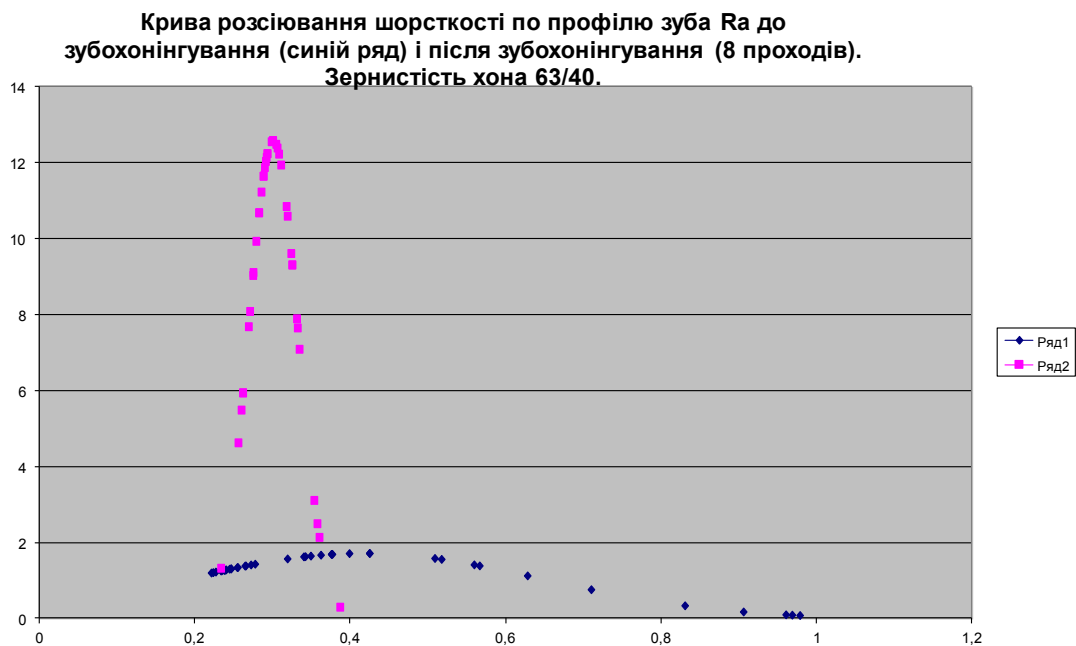


Рисунок 3.9 – Крива розсіювання шорсткості до і після хонінгування по профілю
зуба. Зернистість хону 63/40

Результати дослідів при зернистості хону 28/20 наведені в наступних таблицях та графіках.

Результати заміру параметра шероховатості Ra згідно з ISO 4287 до і після зубохонінгування при зернистості алмазного черв'ячного хону 28/20 приведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 Результати вимірювань до і після зубохонінгування. При зернистості хону 28/20.

№ п/п	№ деталі	№ зуба	Сторон а зуба	Шорсткість після зубофрезерування Ra, мкм		Шорсткість після зубохонінгування Ra, мкм	
				Вздовж лінії зуба	По профілю	Вздовж лінії зуба	По профілю
1	2170 4 дв.	1	1	0,319	0,240	0,168	0,362
				0,306	0,240	0,156	0,344
				0,304	0,223	0,136	0,342

	хода		2	0,248 0,272 0,223	0,955 0,964 0,925	0,106 0,113 0,106	0,329 0,315 0,320					
			2	1	0,317 0,322 0,321	0,218 0,211 0,212	0,160 0,180 0,175	0,299 0,298 0,298				
					2	0,232 0,242 0,231	0,979 0,955 0,940	0,144 0,157 0,116	0,317 0,307 0,301			
		1				1	0,319 0,322 0,323	0,232 0,225 0,220	0,111 0,110 0,103	0,274 0,242 0,237		
			2	0,352 0,353 0,353			0,363 0,353 0,349	0,131 0,120 0,124	0,298 0,280 0,269			
				2	1		0,293 0,295 0,295	0,211 0,219 0,223	0,100 0,101 0,093	0,305 0,269 0,258		
2	1	0,379 0,377 0,381				0,412 0,400 0,400	0,169 0,150 0,144	0,291 0,289 0,288				
		3	2172			1	1	0,328 0,332 0,327	0,243 0,237 0,251	0,204 0,177 0,167	0,289 0,288 0,292	
				2	0,367 0,369 0,366			0,364 0,350 0,354	0,132 0,152 0,188	0,346 0,319 0,306		
	4 дв. хода											

		2	1	0,310 0,310 0,311	0,255 0,253 0,246	0,127 0,183 0,184	0,322 0,275 0,284
			2	0,378 0,382 0,381	0,328 0,318 0,318	0,151 0,144 0,149	0,330 0,313 0,300
	2173 4 дв. хода	1	1	0,369 0,354 0,340	0,208 0,220 0,210	0,209 0,180 0,183рж	0,270 0,279 0,266
			2	0,336 0,336 0,330	0,306 0,289 0,290	0,157 0,161 0,162	0,253 0,262 0,300
		2	1	0,384 0,386 0,393	0,228 0,189 0,201	0,182 0,162 0,183	0,261 0,248 0,238
			2	0,317 0,318 0,318	0,349 0,341 0,334	0,146 0,132 0,111	0,274 0,264 0,254
5	2174 4 дв. хода	1	1	0,282 0,283 0,282	0,229 0,217 0,212	0,167 0,177 0,170	0,285 0,305 0,302
			2	0,348 0,353 0,352	0,272 0,233 0,265	0,170 0,116 0,115	0,356 0,345 0,339
		2	1	0,222 0,223 0,213	0,224 0,223 0,224	0,166 0,165 0,130	0,283 0,288 0,266

			2	0,220 0,214 0,207	0,210 0,187 0,204	0,109 0,116 0,120	0,384 0,367 0,377
6	2175 4 дв. хода	1	1	0,325 0,332 0,324	0,246 0,260 0,228	0,139 0,151 0,146	0,323 0,274 0,266
				0,310 0,311 0,314	0,321 0,330 0,334	0,104 0,110 0,108	0,305 0,304 0,312
				0,337 0,333 0,328	0,225 0,243 0,233	0,129 0,114 0,103	0,295 0,270 0,259
		2	1	0,337 0,333 0,328	0,225 0,243 0,233	0,129 0,114 0,103	0,295 0,270 0,259
				0,357 0,362 0,367	0,302 0,330 0,326	0,098 0,090 0,113	0,304 0,317 0,322
				0,365 0,366 0,355	0,940 0,942 0,938	0,136 0,130 0,123	0,253 0,260 0,267
		2	1	0,363 0,356 0,355	0,533 0,573 0,510	0,114 0,115 0,111	0,338 0,360 0,330
				0,375 0,390 0,380	0,915 0,835 0,906	0,102 0,111 0,131	0,246 0,245 0,244
7	2176 4 дв. хода	1	1	0,338 0,337 0,340	0,604 0,617 0,601	0,110 0,111 0,118	0,289 0,261 0,254
				0,365 0,366 0,355	0,940 0,942 0,938	0,136 0,130 0,123	0,253 0,260 0,267
				0,363 0,356 0,355	0,533 0,573 0,510	0,114 0,115 0,111	0,338 0,360 0,330
		2	1	0,363 0,356 0,355	0,533 0,573 0,510	0,114 0,115 0,111	0,338 0,360 0,330
				0,375 0,390 0,380	0,915 0,835 0,906	0,102 0,111 0,131	0,246 0,245 0,244
				0,365 0,366 0,355	0,940 0,942 0,938	0,136 0,130 0,123	0,253 0,260 0,267
		2	1	0,363 0,356 0,355	0,533 0,573 0,510	0,114 0,115 0,111	0,338 0,360 0,330
				0,375 0,390 0,380	0,915 0,835 0,906	0,102 0,111 0,131	0,246 0,245 0,244

8	2177	1	1	0,320	0,553	0,121	0,223
				0,324	0,546	0,118	0,222
				0,331	0,538	0,109	0,223
			2	0,347	0,524	0,095	0,262
				0,344	0,489	0,091	0,259
				0,347	0,477	0,093	0,254
		2	1	0,317	0,377	0,222	0,282
				0,324	0,380	0,188	0,278
				0,322	0,377	0,148 рж	0,281
			2	0,386	0,459	0,091	0,275
				0,374	0,509	0,103	0,265
				0,370	0,496	0,136	0,253

9	2178	1	1	0,394	0,205	0,106	0,298
				0,398	0,219	0,117	0,318
				0,392	0,224	0,110	0,323
			2	0,229	0,840	0,120	0,352
				0,233	0,748	0,120	0,310
				0,234	0,842	0,143	0,299
		2	1	0,305	0,230	0,122	0,317
				0,312	0,219	0,100	0,280
				0,304	0,201	0,109	0,303
			2	0,396	0,742	0,167	0,283
				0,365	0,664	0,141	0,269
				0,385	0,662	0,149	0,292

10	2179	1	1	0,319	0,232	0,111	0,274
				0,322	0,225	0,110	0,242
				0,323	0,220	0,103	0,237

	хода		2	0,352	0,363	0,131	0,298
				0,353	0,353	0,120	0,280
				0,353	0,349	0,124	0,269
		2	1	0,293	0,211	0,100	0,305
				0,295	0,219	0,101	0,269
				0,295	0,223	0,093	0,258
			2	0,379	0,412	0,169	0,291
				0,377	0,400	0,150	0,289
				0,381	0,400	0,144	0,288

За даними з таблиці було побудовано криву розсіювання шорсткості до і після зубохонінгування при зернистості хону 28/20.



Рисунок 3.10 – Крива розсіювання шорсткості до і після хонінгування вздовж лінії зуба. Зернистість хону 28/20

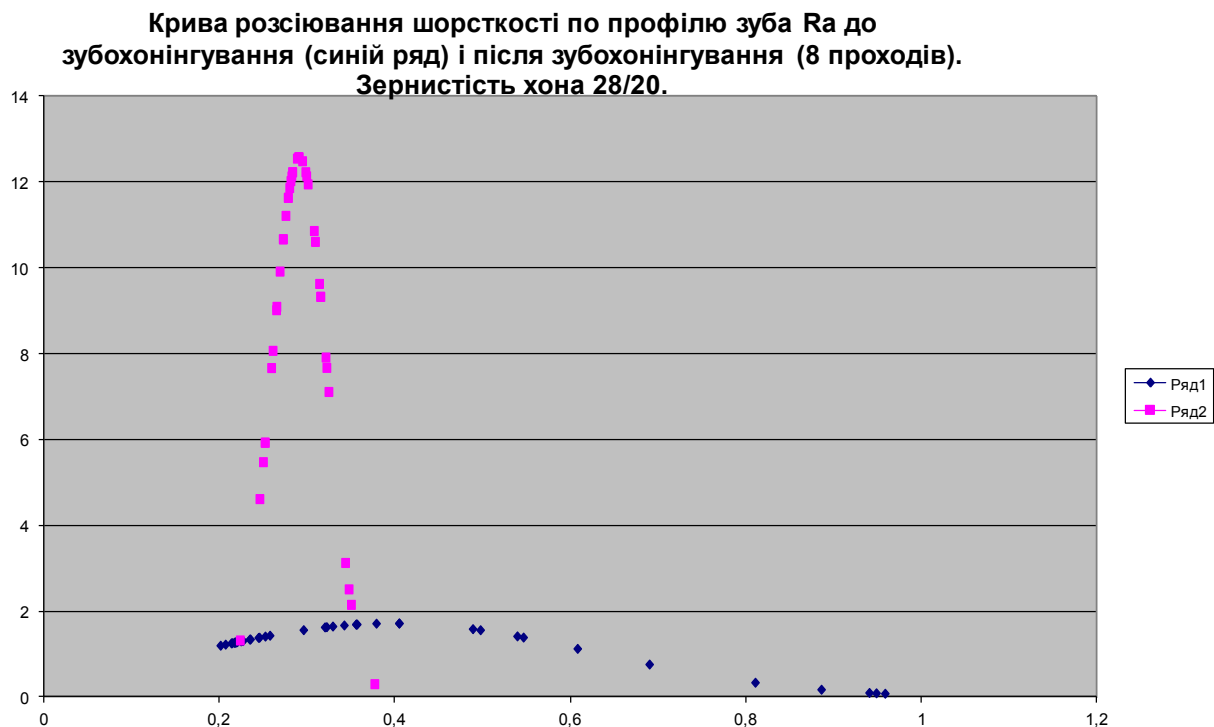


Рисунок 3.11 – Крива розсіювання шорсткості до і після хонінгування по профілю зуба. Зернистість хону 28/20

3.4 Висновки за розділом.

В результаті аналізу стану проблеми встановлено, що сучасний рівень розвитку техніки характерний істотним збільшенням використання в різних галузях народного господарства механізмів вищих кінематичних пар з деталями зі складними формами робочих поверхонь. І одночасним підвищенням вимог до їх функціональних, експлуатаційних, економічних, екологічних та габаритних показників. Прикладами таких кінематичних пар являються зубчасті передачі різних класів, видів і типів.

У багатьох випадках використання зубчастих передач зі складними поверхнями і високими якісними показниками дозволяє значною мірою розширити функціональні і підвищити експлуатаційні та інші показники різних машин і механізмів.

Одними з найбільш поширених класів зубчастих передач є циліндричні зубчасті передачі.

Для України важливість проектування і якісного виготовлення зубчастих передач зі складними поверхнями пояснюється такими причинами:

- у зв'язку з масовим придбанням машин і механізмів імпортного виробництва (комбайни, трактори, автомобілі, верстати з ЧПУ, редуктори та ін.),
- низька конкурентоспроможність вітчизняних машин і механізмів через низькі експлуатаційні та інші показники використовуваних в них деталей особливо зубчастих передач складної форми, від яких багато в чому залежить якість машини або механізму в цілому;

- в даний час проблема якісного виготовлення зубчастих передач складної форми для імпортних машин і механізмів та вітчизняних, пропонованих для експорту вирішується закупівлею імпортного обладнання і технології (включаючи складнопрофільні інструменти та інструменти для їх правки), а також вимірювальної техніки. І знову ж використання імпортної техніки вимагає значних валютних витрат на придбання швидкозношувального складнопрофільного імпортного абразивного і правлячого алмазного інструменту.

Аналіз сучасних світових технологій виготовлення високоточних та якісних зубчастих передач показав, що значні резерви при виготовленні зубчастих передач можуть бути досягнуті при використанні інтегрованих високих технологій. Такими технологіями є термоциклічне йонне-вакуумне азотування (ІПП АН України) та зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами на універсальних верстатах з використанням сучасних інформаційних технологій (ІНМ НАН України).

Вперше розроблена узагальнена уніфікована кінематична схема і її структурна математична модель з використанням теорії відображення афінного простору і проведена їх класифікація в системі MathCAD. Удосконалені конструкції та дослідні зразки алмазних черв'ячних еластичних хонів. Розроблений новий спосіб зубохонінгування на серійних верстатах та удосконалене пристосування для зубохонінгування. Приведені результати випробувань процесу зубохонінгування шестерень гідромоторів на фрезерних та шліфувальних верстатах, які показали його перспективність. Побудовані криві

розсіювання шорсткості. Зменшення шорсткості з Ra 0.3- 0.4мкм до Ra 0.1- 0,15мкм при кінцевих операціях обробки зубчатих передач , а саме: шевінгування – азотування зубохонінгування;

4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Суть проекту полягає в вдосконаленні та впровадженні удосконаленої технології обробки циліндричних зубчастих коліс за допомогою алмазних черв'ячних хонів.

Обробка черв'ячними хонами в порівнянні з традиційною є більш дешевою так як вона не потребує спеціальних верстатів для фінішної обробки зубчастих коліс, дана технологія обробки зубчастих коліс має зовсім нову технологію і новий підхід до обробки зубохонінгуванням.

В роботі було розроблено нову технологію обробки шестерень хонінгуванням після зубошевінгування, а також вдосконалення пристрою, це дало змогу досягти більш кращої якості поверхонь зубчастих коліс.

Напрямок впровадження і використання зубчастих коліс оброблених зубохонінгуванням після шевінгування є високо точні механізми і машини до яких застосовуються високі вимоги до плавності і безшумності роботи та довговічності, так як дана технологія здатна забезпечити всі необхідні показники якості та точності вона є достатньо пресективною для впровадження її на машинобудівних виробництвах.

Методологія розробки стартап-проекту викладена в ресурсі [16].

В таблицях 4.1 та 4.2 приведений опис ідеї проекту також проведений аналіз сильних та слабких і також нейтральних ідей даного проекту.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Удосконалення технології зубохонінгування після методу зубошевінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами.	Високоточне виробництво, де широко використовуються точні зубчасті колеса яким представляються високі	Низька вартість вихідної продукції, так не потрібно використовувати коштовного зубохонінгувального

	вимоги до показників якості і точності поверхонь.	обладнання. Є можливість впровадження даної технології на горизонтально фрезерних верстатах.
--	---	--

Таблиця 4.2 - Визначення слабких, сильних а також нейтральних ідей проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідей	Потенційні товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект	Конкурент:1	Конкурент:2			
1	Ціна	+	-	-			+
2	Довговічність	+	+	+		+	+
3	Складність налагодження виробництва	+	-	-			+
4	Наявність замітника	+	+	+		+	
5	Час реалізації для випуску товару	-	+	-	+		
6	Високовартісне обладнання	-	+	+			+

4.2. Технологічний аудит ідей проекту

В межах даного розділу потрібно провести аудит технологій виготовлення які дадуть змогу впровадити, в виробництво ідею даного проекту.

Для аудиту вирішуємо наступні питання та задачі: (таблиця 4.3):

- За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідей проекту?

- Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- Чи доступні такі технології авторам проекту

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1.	Удосконалення існуючої технології обробки зубчастих коліс алмазними хонами.	Вдосконалення технології зубохонінгування після зубошевінгування, також вдосконалення пристрою для реалізації ідеї.	Дана технологія потребує доопрацювання.	Технологія є малодоступною. Так як воно є відносно новою.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Вдосконалення існуючого методу зубохонінгування після зубошевінгування, вдосконалення пристрою для зубохонінгування еластичними черв'ячними хонами, вибір більш оптимальних режимів і методу обробки.				

На основі проведеного технологічного аналізу, можна зробити висновок, що даний процес зубохонінгування після шевінгування є досить важким в реалізації так як конструкція хону є досить складна, вона потребує виготовлення спеціальних прес форм, а це в свою чергу потребує додаткових витрат на матеріал і обладнання.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	600-1500
2	Загальний обсяг продаж, грн./ум.од	40000-60000/рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Поступово зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідні інвестиції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	В наявності
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Надалі визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Точність зубчастих коліс та довговічність	Високоточне машинобудування	В залежності від матеріального стану клієнтів формуються загальна картина відмінностей.	Сертифікація. Забезпечення необхідної якості та точності і довговічності роботи.

Після визначення потенційних груп клієнтів проведено аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню

проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 4.6 - 4.7). Фактори в таблиці наведені в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Не впевненість покупців в якості відтчизняних продуктів.	Сумніви в якості виробленої продукції.	Проведення маркетингових робіт.
2	Не здатність впровадження технології на наших заводах і виробництвах	Не достатність потужності виробництв для впровадження нових технологій.	Зменшення собівартості технології.

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Знайти споживача	Налагодити збут продукції	Впровадження технологій в масове виробництво, виготовлення конкурентноздатної продукції.
2	Послуги для впровадження технології в маси.	Надання гарантійного зобов'язання та обслуговування	Впровадити та налагодити роботу сервісного центру.

Далі було проведено аналіз пропозиції з визначенням загальних рис конкуренції на ринку (див. табл. 4.8.).

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції	Олігополія	Мінімальна вартість кінцевого продукту.
За рівнем конкурентоздатності	Локальна	Перспектива на співпрацю з закордонними фірмами.
За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Виведення технології на новий рівень виробництва.
Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова	Робота з маркетинговими фірмами.
За характером переваг	Цінова	Намагатися мінімізувати вартість продукту.
За інтенсивністю	Марочна	Закріплення технології на ринку та пошук ринку збуту.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Науково-дослідницькі заклади	Науково-дослідницькі заклади	Науково-дослідницькі заклади	Високоточні машинобудівні	Традиційні технології

				виробництва	
Висновки	Боротьба на міжнародному рівні, за рахунок якості з мінімізацією ціни	Прозоре наукове підґрунтя при розробленні в порівнянні з конкурентами	Мінімізація вартості та надійності технології	Надання гарантійних послуг та обслуговування.	Покращення якості вихідної якості товару

За аналізом конкурентоздатності, можна зробити висновок про можливість реалізації ідеї, не зважаючи на труднощі.

Обґрунтування факторів конкурентоздатності наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10- Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Максимальна мінімізація ціни технології	Мінімально зменшить собівартість технології, для її спроможності конкорувати на ринку з закордонними фірмами.
2	Удосконалення технології зубохонінгування після збошевінгування.	Можливість в майбутньому удосконалювати дану технологію в майбутньому дає змогу конкурувати технології на ринку.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з
---------------	--------------------------------------	------------------	---

			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Зменшення собівартості процесу технології зубохонінгування після шевінгування							+	
2	Удосконалення технології						+		
3	Прозорість по науковому обґрунтуванні розроблення технології				+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, або матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weaknesses) сторін, можливостей (Opportunities) та загроз (Troubles) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 4.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Ціна технології та якість виробів	Слабкості: Необхідність в фінансуванні, та зростання конкуренції на ринку.
Можливості: Підйом вітчизняного виробництва на новий рівень.	Загрози: Неможливість знайти споживача товару.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиці 4.13).

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Отримання коштів для впровадження методу.	Ймовірна	1 рік
2	Мінімізація недоліків методу	Ймовірна	до 10 місяців

Як альтернативу з найбільшою ймовірністю для ринкового впровадження стартап-проекту з двох методів вибрано метод вирішення проблеми з мінімізацією недоліків проекту, оскільки він має найменший термін реалізації.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (див. таблиці 4.14).

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Високоточні машинобудівні підприємства	Повна	Високий	Висока	Висока
Які цільові групи обрано: Підприємства високоточного машинобудівного виробництва.					

Обрана стратегія охоплення ринку: Є стратегія диференційованого маркетингу. Потенційними споживачами даної технології є космічна промисловість, літакобудування та інші виробництва які потребують точних зубчастих пар.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Вирішення недоліків технології	Стратегія диференційованого маркетингу	Постійне вдосконалення та корекція технології	Стратегія впровадження технології в маси

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 4.16).

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохо- дцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Шукати нових	Ні	Зниження вартості технології, та постійне вдосконаленн я.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до виробника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні позиції на ринку (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект (таблиця 4.17).

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Виріб повинний мати необхідні характеристики. Надання сертифікату якості.	Завоювання ринку, та знаходження свого покупця.	Постійне вдосконалення та впровадження нових підходів.	Точність, якість, собівартість, надійність.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (таблиця 4.18).

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Забезпечення характеристик	Якість, точність, надійність, собівартість.	Новий підхід до методу фінішної обробки зубчастих коліс.

2	Достатня науково-технічна база.	Презентація технології виробництва товару.	Відсутність такого методу в конкурентів.
---	---------------------------------	--	--

Далі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 4.19)

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	Повна фаза виробництва хонів		
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1 Низька вартість виготовлення		
	2 Достатня надійність		
	3 Нова технологія на ринку		
	Якість: використання новітніх технологій при розробці і виготовленні виробу.		
	Пакування: поки відсутнє		
	Марка: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:			
Патентування ідеї та всіх наукових досягнень по виробу.			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає

аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на технологію/послугу
1	Не має даних	17% економії	220 – 300\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 4.21):

- Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Збут товару за допомогою власних сил	Заходи що допоможуть просування товару в маси	міжрегіональний	структурована
2	Збут товару через посередників	Логістика, розширення ринку, Інформування виробника	міжнародний	структурована

Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спираються на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 4.22).

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук якісного товару за меншу собівартість	Презентації, виставки, інтернет магазини.	Точність, якість, надійність, довговічність.	Хороша якість за помірну ціну.	Якість за розумні гроші.

4.6 Висновки за розділом

Після вивчення сучасного ринку можна зробити висновок, що дана технологія зубохонінгування після шевінгування, є достатньо іноваційною і в подальшому вона може конкурувати з сучасними методами зубохонінгування.

Можна з впевненістю сказати, що дана технологія займе своє місце на ринку і вона здатна знайти свого споживача.

Преспектива розвитку даного проекту є високою і має право на життя.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рутковський А. В., Кумуржи О. Ю. Зносостійкість сталі 40Х13 зміцненої методом термоциклічного іонно-плазмового азотування в умовах абразивного зношування // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С.240–250..
2. Кривошея А.В., Воронцов Б.С., Константиненко Д.О., Шубін Ю.Є. - «Підвищення якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування», «Машинобудування очима молодих» Прогресивні ідеї – наука – виробництво, Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня-02 листопада Краматорськ 2018 рік, Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2018. - 204 с.;
3. Перепелица Б.А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием. – Харьков: Выща шк., 1981. – 152с.
4. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М., Сторчак М.Г., Мельник В.Е., Совершенствование обобщенной унифицированной математической модели формообразования и обработки зубчатых колес. С. 46-51. «Оборудование и инструмент для профессионалов», международный информационно-технический журнал № 4 /127/ 2010. – 120 с.
5. СПРАВОЧНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА [Електронний ресурс №1] <https://mehanik-ua.ru/pidruchnik-materialoznavstvo/706-tsementatsiya-stali.html>; (дата звертання 18.11.19) .
6. Азотування сталі [Електронний ресурс №2] :<https://studopedia.org/2-125709.html>; (дата звертання 18.11.19).
7. Любарский Н.М. Повышение износоустойчивости тяжело нагруженных шестерен / Н.М. Любарский. – М. : Машиностроение, 1965. – 132 с.
8. Способи чистової та фінішної обробки зубчастих коліс [Електронний ресурс №3]:https://knowledge.allbest.ru/manufacture/3c0a65635b2bd78a5d53a88421316c27_0.html; (дата звертання 18.11.19).
9. Генкин М.Д. Зубохонингование как метод удаления дефектного слоя / М.Д.Генкин, М.А.Рыжов, Л.И.Фокин // Надежность и качество зубчатых передач. – М. : Машиностроение, 1968. – С. 120-132.
10. Вулгаков Э.Б. Теория эвольвентных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1995. – 264с.

11. Генкин М.Д. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач / М.Д. Генкин, М.А. Рыжов, Н.М. Рыжов. – М. : Машиностроение, 1982. – 232 с.
12. Гулида Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес / Э.Н. Гулида. – Львов : Изд. об-ние "Вища школа", 1977. – 168 с.
13. Решетов Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – М. : Высш. школа, 1988. – 238 с.
14. Кривошея А.В. Финишная обработка цилиндрических зубчатых колес алмазными эластичными червячными хонами / А.В. Кривошея, В.В. Возный, С.В. Рябченко, В.Е. Мельник, В.Н. Бычихин, Т.Е. Третьяк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Зб. наук.праць. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля. – Вип. 19, 2016. – С. 444-450.
15. Поверхностное упрочнение зубчатых колес : монография / Б. А. Ляшенко, П. В. Каплун, Ф. И. Златопольский, С. А. Довжук, Е. К. Соловых; Кировоград. нац. техн. ун-т. - Кировоград, 2015. - 183 с.
16. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

ДОДАТОК

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ім. В. М. БАКУЛЯ

ЗАТВЕРДЖОЮ

Заст. директора Інституту

Надтвердих матеріалів

Ім. В. М. Бакуля

_____ **Климченко С.А.**

_____ **2019**

ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ ФІНІШНА ОБРОБКА ЗУБЧАТИХ КОЛІС АЛМАЗНИМИ ЧЕРВЯЧНИМИ ХОНАМИ

ТІ 25000.08820

(ПРОЕКТ)

РОЗРОБЛЕНО

Зав. відділом №20

ІМН ім В. М. Бакуля

_____ **С. Є. Шейкін**

_____ **2019**

Старший науковий співробітник

Відділу №20 ІМ ім. В. М. Бакуля

_____ **А. В. Кривошея**

_____ **2019**

Студ. КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ **Константиненко Д. О**

_____ **2019**

ПОГОДЖЕНО

Керівник групи стандартизації

ІМН ім. В. М. Бакуля

_____ **Л. М. Тимошенко**

_____ **2019**

2019

1 Призначення

ТІ 25000.00820

Справжня технологічна інструкція призначена для здійснення технологічного процесу фінішної обробки зубчастих коліс алмазними черв'ячними хонами.

2 Матеріали

Наведено перелік матеріалів, необхідних для здійснення технологічного процесу фінішної обробки зубчастих коліс алмазними черв'ячними хонами.

- алмазний черв'ячний хон - ТІ 25000.00819;
- заготовки зубчастого колеса - надана замовником;
- індустріальне масло І20 - ГОСТ 20799-88;
- гас технічний - ТУ У 23.2-30661021-002: 2008;
- вода дистильована - ГОСТ 6709-72.

3 ОБЛАДНАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА ОСНАСТКА, ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

3.1 Наведено перелік обладнання, технологічного оснащення і засобів вимірювальної техніки, необхідних для фінішної обробки зубчастих коліс алмазними черв'ячними хонами:

- горизонтально-фрезерний верстат - мод. 6М82Ш;
- пристрій для зубохонінгування;
- еталонний динамометр - ДОСМ-3-01;
- вимірювальна система УИС-Р10-8-СОМ;
- ноутбук;
- прилад для вимірювання параметрів шорсткості профілометр RT 10 - ISO 17025 (Італія);
- штангензубомер ШЗН18 - ГОСТ 1643-81;

-штангенциркуль ШЦ-П-160-0,05 ГОСТ 166-89 (ІСО) 3599-76;

-Годинник електричний ТУ 25-07-1503-82.

4 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ І

ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальні вимоги до методів контролю за станом повітря робочої зони по ГОСТ 12.1.005-88.

4.2 Електрообладнання повинно відповідати вимогам безпеки по ГОСТ 12.2.007.0-75.

4.3 Рівень звукового тиску обладнання не повинен перевищувати 80 Дб по ГОСТ 12.1.003-83.

4.4 При експлуатації хонів на горизонтально-фрезерних верстатах в якості мастильно-охолоджувального технологічного середовища / МОТС / застосовується рідина, яка складається з масла індустриального І20 ГОСТ 20799-88 (10%) і гасу ТУ У 23.2-30661021-002: 2008 (90%).

Індустриальне масло є шкідливою речовиною з гранично допустимою масовою концентрацією в повітрі робочої зони - 5 мг / м і 3-м класом небезпеки по ГОСТ 12.1.005-88.

4.5 При роботі на верстатах категорично забороняється знімати захисні кожухи, порушувати чи заважати роботі блокуючих пристроїв.

4.6 У процесі експлуатації повинно бути забезпечене надійне закріплення хона і оброблюваного їм зубчастого колеса.

5 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

5.1 Технологічний процес фінішної обробки зубчастих коліс алмазними черв'ячними хонами включає наступні етапи:

- установка на горизонтально-фрезерний верстат 6М82Ш пристрою для зубохонінгування;

- закріплення на горизонтально-фрезерному верстаті алмазного зубчастого хона, допускається зернистість алмазного зубчастого хона 80 / 63-50 / 40, зв'язка В3-20 по СТП 90.468-86;
 - установка вимірювальної системи УИС-Р10-8-СОМ для визначення зусиль радіального навантаження (допустима величина 150-200Н) в парі пристрій для зубохонінгування - алмазний зубчастий хон;
 - виміри параметрів шорсткості заготовок зубчастих коліс на профілометрі RT 10 до обробки;
 - установка заготовки зубчастого колеса на горизонтально-фрезерному верстаті;
 - обробка заготовки зубчастого колеса;
 - число обертів хона - 200 об / хв, швидкість 1,5 м / с;
 - поздовжня подача - 1,5-3,0 мм / об.дет;
 - кількість робочих ходів столу горизонтально-фрезерного верстата 2-4 подвійних ходів;
 - використання МОТС сприяє видаленню з зони обробки продуктів зносу хона і шламу, що забезпечує усунення засолювання зубчастого хона і подряпин на обробленій поверхні, підвищення продуктивності, стійкості хона і якості обробки.
 - При оптимальних режимах обробки забезпечується зниження параметрів шорсткості з $Ra = 0,35-0,40$ мкм., до $Ra = 0,1$ мкм.
- 5.2 При виявленні нехонінгованих ділянок, заготовку ставити на повторний цикл хонінгування.
- 5.3 Заміри параметрів шорсткості зубчастого колеса на профілометрі RT-10 після обробки;
- 5.4 Контроль розмірів зубів зубчастого колеса за допомогою:
- штангензубомера ШЗН18 - ГОСТ 1643-81;
 - штангенциркуля ШЦ-П-160-0,05 ГОСТ 166-89 (ISO 3599-76).